

21.391/ITS/H/05



**TUGAS AKHIR
KP 1701**

**ANALISIS TAHANAN GELOMBANG
KAPAL MONOHULL
DENGAN THIN SHIP THEORY**



Rspe
623.848
Han
9-1
2003

Oleh :

WIRALINA HANDAYANI
NRP : 4196 100 025

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	15-8-2003
Terima Dari	H/
No. Agenda Prp.	218733

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2003**

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR
(KP 1701)**

JUDUL:

**ANALISIS TAHANAN GELOMBANG
KAPAL MONOHULL
DENGAN THIN SHIP THEORY**

Oleh:

WIRALINA HANDAYANI
NRP. 4196 100 025

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Perkapalan
pada
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya



Mengetahui dan Menyetujui,

Dosen Pembimbing,

Ir. I.K.A. Pria Utama, M.Sc., Ph.D.

NIP. 132 007 645

ANALISIS TAHANAN GELOMBANG KAPAL MONOHULL DENGAN THIN SHIP THEORY

ABSTRAK

Permintaan atas kapal komersial berkecepatan tinggi telah meningkat secara signifikan akhir-akhir ini. Berbagai macam percobaan model kapal jenis tersebut telah dilakukan untuk mengetahui tahanan yang mungkin timbul pada saat kapal dioperasikan. Dalam tugas akhir ini, teori lambung tipis digunakan untuk menganalisa tahanan gelombang untuk bentuk lambung yang berbeda pada kapal monohull. Adapun bentuk lambung yang digunakan adalah bentuk NPL dan Series 64. Untuk masing-masing bentuk, tugas akhir ini menghasilkan efek perubahan perbandingan L/B , B/T dan berbagai panjang serta lebar kapal untuk displasemen konstan. Hasil akhirnya berupa perhitungan tahanan gelombang. Dengan bantuan perangkat lunak yaitu program Delphi, karakteristik tahanan gelombang yang dihasilkan dari hasil perhitungan akan ditunjukkan dalam bentuk grafik, dan akan dibandingkan dengan hasil tahanan gelombang yang dihasilkan dari percobaan model.

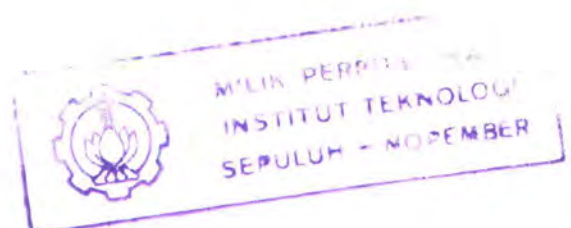
ANALYSIS OF WAVE RESISTANCE FOR MONOHULL FORM USING THIN SHIP THEORY

ABSTRACT

Demand for commercial high-speed vessels has increased significantly in recent years. So many model test of this ship form has done to know the resistance that would appear when its operated.

In this final project, thin-ship theory has been used to analyze the wave resistance for different hull forms in monohull. The hull forms used in this study were NPL and Series 64. For each of this configurations, this final project demonstrates the effect of changing length-to-beam ratio, beam-to-draught ratio, and of varying length or beam for constant displacement. The final result is wave resistance calculation.

It is helped by software using Delphi that wave resistance characteristics result from calculation will showed graphically, and it'll compare with wave resistance result from ship model test.



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir ini. terselesaikannya penulisan tugas akhir ini tidak lepas dari dukungan yang diberikan oleh semua pihak yang telah memberikan motivasi dan bantuan. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. I.K.A.P. Utama, M.Sc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bantuan, masukan dan menambah motivasi penulis demi kebaikan hasil dari penulisan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua serta saudara-saudaraku atas dukungan, bimbingan dan do'a yang tak pernah berhenti diberikan kepada penulis.
3. Teman-teman baikku Luki, Lusi, Ratna, dan Binti yang selalu siap sedia membantu.
4. Teman-temanku dari berbagai angkatan di Teknik Perkapalan, yang telah memberikan hiburan bagi penulis dalam kebersamaan kita selama ini.
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Kami menyadari bahwa dalam tugas akhir ini masih terdapat kekurangan, sehingga kritik dan saran untuk kesempurnaan tugas akhir ini diharapkan agar dapat bermanfaat bagi orang lain.

Surabaya Juli 2003

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

KATA PENGANTAR

ABSTRAK

ABSTRACT

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Tujuan Penulisan	5
1.3. Batasan Masalah	5
1.4. Metodologi dan Analisa	6
1.5. Sistematika Penulisan	7

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tahanan Total Kapal Beserta Komponennya	8
2.2. Tahanan Gelombang Berdasarkan Thin Ship Theory	16
2.3. Tahanan Kapal yang Dihasilkan dari Percobaan Model	22

BAB 3 PERHITUNGAN TAHANAN GELOMBANG

3.1. Tahanan Gelombang dari Percobaan Model	25
3.1.1. Bentuk Lambung NPL	25
3.1.2. Bentuk Lambung Series 64	26
3.2. Perhitungan Tahanan Gelombang dengan Thin Ship Theory	32

BAB 4 ANALISA HASIL

4.1. Analisa Tahanan Gelombang	34
4.1.1. Efek Perubahan Rasio L/B	37
4.1.2. Efek Perubahan Rasio B/T	37
4.1.3. Efek Variasi L untuk Harga B dan Displasemen Tetap	38
4.1.4. Efek Variasi B untuk harga L dan Displasemen Tetap	38
4.2. Perbandingan Hasil Percobaan Model dengan Perhitungan	39

BAB 5 KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan	69
5.2. Saran	70

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Komponen-komponen tahanan.	9
Gambar 2.2.	Model kapal di tangki percobaan.	10
Gambar 2.3.	Distribusi panel source melalui bidang garis tengah lambung.	20
Gambar 2.4.	Kekuatan source di pusat tiap-tiap panel.	21
Gambar 3.1.	Model NPL.	29
Gambar 3.2.	Model Series 64.	31
Gambar 4.1 – 4.19.	Distribusi Cw model NPL.	48
Gambar 4.20 – 4.38.	Distribusi Cw model Series 64.	55
Gambar 4.39 – 4.57.	Distribusi Cw model NPL & Series 64	62

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Model induk NPL.	28
Tabel 3.2.	Model induk Series 64.	30
Tabel 4.1.	Distribusi Cw model NPL & Series 64	41

BAB 1

PENDAHULUAN

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Telah kita ketahui bahwa pertumbuhan industri kapal cepat yang meningkat akhir-akhir ini menyoroti masalah pada tahanan kapal sebenarnya yang dihitung berdasarkan skala dari percobaan model kapal itu sendiri. Dengan menggunakan pendekatan tradisional, tahanan total dapat dirinci tergantung dari angka Froude dan Reynolds. Kedua komponen ini kemudian di-skala berdasarkan aturan penyekalaan masing-masing. Sedangkan metode praktis yang umum digunakan untuk memisahkan komponen tahanan adalah dengan menggunakan faktor bentuk untuk menghitung seluruh unsur yang ada.

Dalam merencanakan kapal, terlebih dahulu perancang menentukan besarnya ukuran utama kapal yang direncanakan, dan juga harus menentukan gemuk kurusnya badan kapal yang lazim disebut koefisien kelangsingan (C_b). Walaupun dengan adanya ketentuan-ketentuan tersebut, berbagai bentuk kapal masih bisa dibuat.

Dalam hal ini tidak semuanya kemungkinan-kemungkinan tersebut akan baik dan memuaskan, karena faktor umum yang memegang peranan penting adalah tahanan yang akan dialami oleh kapal pada waktu ia bergerak, dimana besarnya dipengaruhi bentuk dari kapal itu sendiri dan perbandingan dari kecepatan kapal (angka Froude, F_n) dan juga keadaan pelayaran. Besarnya angka

Froude dapat dipakai sebagai penentu kecepatan kapal. Bertambah besar angka Froude berarti gerakan kapal semakin cepat.

Dilihat dari besar kecilnya angka Froude, maka dapat dibagi menjadi tiga kelompok kapal, yaitu:

1. Kapal lambat, yaitu kapal yang berlayar pada perbandingan kecepatan tidak melebihi $F_n = 0,20$.
2. Kapal sedang, jika F_n kapal berada diantara $0,20 < F_n < 0,35$.
3. Kapal cepat, jika kapal mempunyai $F_n \geq 0,35$.

Dari sekian banyak komponen tahanan kapal, bidang hidrodinamika kapal telah bekerja dalam pendekatan teoritis tahanan gelombang kapal. Tahanan gelombang timbul karena gerakan kapal dan permukaan dari cairan. Gerakan gelombang cairan adalah suatu gerakan gelombang dari bagian-bagian kecil dari cairan tersebut. Gerakan ini timbul karena pengaruh tekanan-tekanan atau gaya-gaya dari luar, misalnya pengaruh angin, gerakan benda keras/padat dalam cairan, dan lain-lain.

Bagi kapal berkecepatan rendah dan sedang, tahanan akibat timbulnya ombak hanya sekitar 25% dari tahanan total kapal. Tetapi untuk kapal berkecepatan tinggi harga tersebut bisa mencapai 50% dari tahanan total kapal.

Penyelidikan mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi tahanan gelombang dapat dilakukan dengan dua jalan, yaitu dengan percobaan model kapal di suatu tangki percobaan, dan dengan menghitung secara teoritis besarnya tahanan gelombang dengan memakai prinsip-prinsip hidrodinamika.

Metode untuk menghitung tahanan gelombang dapat dibagi dalam dua kelompok, yaitu:

1. Aliran di sekitar badan kapal ditentukan dulu kemudian distribusi tekanan normalnya. Selanjutnya komponen depan dan belakang tekanan tersebut diintegrasikan ke seluruh permukaan badan kapal.
2. Pola gelombang yang ditimbulkan kapal pada jarak yang cukup jauh di belakang buritan dihitung dulu. Selanjutnya tahanan gelombang dihitung berdasarkan aliran energi yang diperlukan untuk mempertahankan sistem gelombang.

Metode pertama dikembangkan oleh Michell (1898) dan disempurnakan oleh Eggers (1965) disebut dengan thin ship theory, dimana sasaran penelitiannya adalah untuk memberikan suatu penyelesaian umum mengenai berbagai karakteristik gelombang yang ditimbulkan oleh kapal yang mempunyai bentuk tertentu dan bergerak di cairan tanpa kekentalan, dan untuk menentukan tahanan yang diakibatkan oleh gelombang terhadap gerakan kapal tersebut.

Thin ship theory merupakan pengembangan teori yang sudah ada, dengan asumsi dasar yaitu lambung berbentuk tipis dan runcing, dengan kata lain, lebar kapal lebih kecil dibandingkan panjangnya.

Metode pemecahan masalah pada tahanan gelombang kebanyakan tergantung pada bagaimana mengganti gerakan kapal dalam fluida dengan gerakan sumber (source) dari sistem yang sepadan. Oleh karena itu, selama kapal berbentuk tipis dan ramping (slender), thin ship theory, yang menampilkan gerakan kapal dalam fluida dengan mendistribusikan sumber (source) pada bagian

tengah (centreline) lambung, memberikan hasil yang lebih baik dan metode perhitungan yang lebih mudah.

Tampilan lain pada thin ship theory yang cukup penting dan telah diperluas dan diaplikasikan dalam ruang lingkup masalah hidrodinamika kapal adalah, teori ini memberikan ketergantungan dan hubungan langsung antara bentuk kapal dan tahanan gelombang kapal. Ini dikarenakan kekuatan sumber (source) yang proporsional terhadap kemiringan memanjang garis air lokal.

Tahanan gelombang yang dihasilkan percobaan model dipengaruhi oleh berbagai faktor yang dapat mempengaruhi hasil percobaan. Salah satunya adalah bentuk lambung (hull) model. Untuk itu perlu dibandingkan dengan hasil perhitungan dengan thin ship theory, agar didapatkan hasil yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan secara teoritis maupun praktis. Hal ini berguna untuk mendapatkan aspek penyebab ketidakberhasilan maupun ketidakakuratan suatu percobaan model atau untuk pengembangan teori ini selanjutnya.

Selain itu, ditunjang dengan penggunaan program Delphi untuk membantu dalam akurasi perhitungan, diharapkan akan mempermudah penulis untuk membandingkan tahanan gelombang yang menghasilkan karakteristik yang berbeda-beda, sesuai dengan bentuk model kapal yang digunakan, yaitu NPL dan Series 64.

Diharapkan perhitungan tahanan gelombang yang dikembangkan oleh Michell dan Eggers lebih dapat diaplikasikan dalam berbagai perhitungan tahanan gelombang atau dikembangkan lebih lanjut dengan menghilangkan kekurangan yang ada.

1.2. Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan ini adalah:

1. Untuk mendapatkan gambaran mengenai bentuk tahanan gelombang antara hasil percobaan model kapal dengan hasil perhitungan dengan metode thin ship theory.
2. Untuk mengetahui faktor penyebab ketidakcocokan hasil antara keduanya bila model kapal dioperasikan dalam kondisi yang bervariasi.

1.3. Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini, terdapat batasan masalah untuk membatasi ruang lingkup pengerjaan dan penarikan kesimpulan akhir, yaitu:

1. Kapal yang digunakan dalam analisis data dan perhitungan adalah kapal yang berlambung tunggal atau kapal monohull.
2. Kapal ini memiliki F_n antara 0,2 – 1,0.
3. Input data program untuk jumlah gelombang harmonik adalah 50, dan sudut gelombang yaitu 80. Bidang tengah lambung dibagi dalam kotak-kotak panel menjadi 50 station dan 20 garis air.
4. Bentuk model kapal yang digunakan adalah bentuk Series 64 dan NPL.
5. Secara umum, parameter untuk analisis merupakan perbandingan harga L/B , B/T , L dan B untuk displasemen konstan.
6. Titik berat penulisan tugas akhir ini adalah untuk mencari karakteristik tahanan gelombang kapal.



7. Persamaan matematis yang digunakan untuk menghitung tahanan gelombang ini berdasarkan metode Michell dan Eggers, yang diaplikasikan dalam teori lambung tipis (thin ship theory).
8. Perangkat lunak yang digunakan untuk perhitungan teoritis tahanan gelombang adalah Delphi release 6.

1.4. Metodologi dan Analisa

Metode yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini adalah:

1. Identifikasi masalah
Menentukan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini, yaitu menganalisa besarnya tahanan gelombang kapal dengan thin ship theory.
2. Studi literatur
Meliputi pemahaman dasar teori berdasarkan literatur-literatur yang sesuai dengan permasalahan yang ada, serta penggunaan pemrograman secara lebih mendetail.
3. Pengumpulan data
Memproses data pokok yang akan dianalisis dan merupakan hasil percobaan model kapal, maupun data penunjang yang berasal dari referensi atau literatur, baik berupa angka, grafik, maupun gambar.
4. Perhitungan data
Menggunakan metode yang telah ditentukan dalam identifikasi masalah ditunjang dengan penggunaan program.

5. Analisa hasil perhitungan secara teoritis dibandingkan dengan hasil percobaan model kapal.
6. Pengambilan kesimpulan serta saran.

1.5. Sistematika Penulisan

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisi penjelasan mengenai latar belakang permasalahan, tujuan, pembatasan masalah dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisi teori dasar yang berkenaan dengan permasalahan yang dibahas serta metode penyelesaian yang dipakai.

BAB 3 PERHITUNGAN TAHANAN GELOMBANG

Menjelaskan teori dasar dalam perangkat lunak dan data percobaan model yang digunakan sebagai perbandingan.

BAB 4 ANALISA HASIL

Berupa analisa data hasil percobaan dengan hasil yang didapat dari perhitungan.

BAB V PENUTUP

Merupakan kesimpulan dari hasil analisa dan saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tahanan Total Kapal Beserta Komponennya

Tahanan (resistance) kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Tahanan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal.

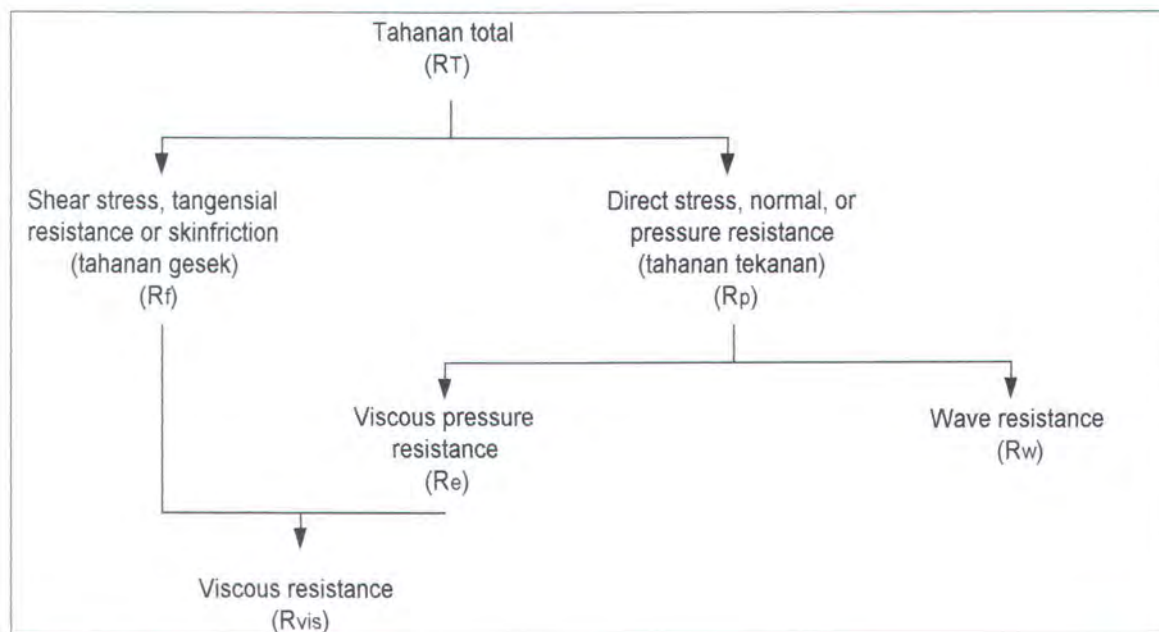
Dilihat dari segi macamnya tahanan yang akan dialami kapal, yang disebabkan perbedaan tempat Bergeraknya, maka dapat dibagi dalam tiga golongan yaitu:

1. Kapal bergerak di permukaan air, jadi ada bagian badan kapal yang tercelup dalam air, dan ada bagian yang diatas permukaan air.

Baik kapal yang berukuran kecil, sedang atau besar dalam golongan ini, disebut kapal biasa. Tahanan kapal sebagian besar akan disebabkan oleh air, sedangkan tahanan yang disebabkan oleh udara pada keadaan cuaca baik (tenang) bagi kapal yang tidak berkecepatan tinggi, relatif kecil sekali dan dapat diabaikan.
2. Kapal yang bergerak keseluruhannya di dalam air, misalnya kapal selam, maka tahanan yang bekerja pada kapal tersebut adalah tahanan yang disebabkan oleh air.

3. Kapal-kapal yang bergerak di permukaan air, misalnya: speed boat, hydrofoil, jet foil, hovercraft, dan lain-lain.

Tahanan kapal terbagi menjadi komponen-komponen tahanan sebagai berikut:



Gambar 2.1. Komponen-komponen tahanan

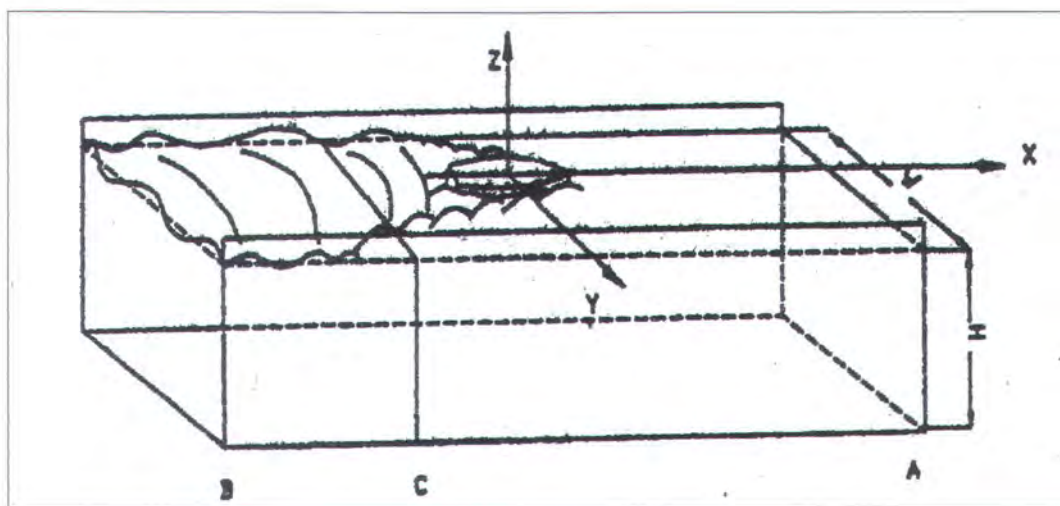
Tahanan total $R_T = R_f + R_{vis} + R_w$, dimana R_f dan $R_e = R_{vis}$ berhubungan dengan kekentalan cairan. Sehingga $R_f + R_e = R_{vis}$ disebut tahanan kekentalan.

Dengan memakai definisi yang dipakai ITTC (International Towing Tank Conference 1957), komponen tahanan kapal dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Tahanan gesek R_f adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan jalan mengintegalkan tegangan tangensial ke seluruh permukaan basah kapal menurut arah gerakan kapal.

- Tahanan viskos R_{vis} adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan akibat pengaruh viskos.
- Tahanan tekanan R_p adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan jalan mengintegalkan tegangan normal ke seluruh permukaan benda menurut arah gerakan benda.
- Tahanan tekanan viskos R_e adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan jalan mengintegalkan komponen tegangan normal akibat viskositas dan turbulensi.
- Tahanan gelombang R_w adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan untuk menimbulkan gelombang gravitasi.

Komponen tahanan model dapat diperoleh berdasarkan atas pertimbangan perubahan momentum. Anggap bahwa model dalam tangki dibentuk oleh bidang A, bidang B, dinding tangki, dasar tangki dan permukaan model. Bidang A merupakan hulu dan bidang B adalah hilir (Gambar 2.2). H dan W adalah tinggi dan lebar tangki.



Gambar 2.2. Model kapal di tangki percobaan

Dengan menggunakan kekekalan momentum, total gaya pada permukaan tangki harus sama dengan perubahan kecepatan momentum aliran fluida yang melewati tangki. Karena itu:

$$M_B - M_A = F_A - F_B - R_T \quad (2.1)$$

Dimana M_A = momentum aliran masuk yang melewati bidang A per satuan waktu

$$M_A = \rho \int_{-W/2}^{W/2} \int_{-H}^{\zeta_B} U(U+u) dz dy \quad (2.2)$$

Momentum aliran keluar yang melewati bidang B per satuan waktu:

$$M_B = \rho \int_{-W/2}^{W/2} \int_{-H}^{\zeta_B} (U^2 + 2Uu + u^2) dz dy \quad (2.3)$$

F_A = gaya tekan pada bidang A

$$F_A = \rho / 2 g W H^2 \quad (2.4)$$

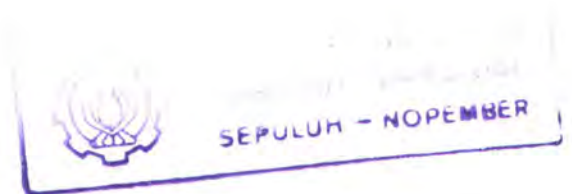
F_B = gaya tekan pada bidang B

$$F_B = - \int_{-W/2}^{W/2} \int_{-H}^{\zeta_B} \left[-\rho g z - \rho / 2 (2Uu + u^2 + v^2 + w^2) - \Delta P \right] dz dy \quad (2.5)$$

Substitusi persamaan (2.2), (2.3), (2.4), (2.5) ke (2.1), tahanan total menjadi:

$$R_T = \rho g / 2 \int_{-W/2}^{W/2} \zeta_B^2 dy + \rho / 2 \int_{-W/2}^{W/2} \int_{-H}^{\zeta_B} (v^2 + w^2 - u^2) dz dy + \int_{-W/2}^{W/2} \int_{-H}^{\zeta_B} \Delta P dz dy \quad (2.6)$$

Gangguan kecepatan u dapat ditulis dengan $u^2 = u^2 + (u^2 - u^2)$, dimana u adalah kecepatan fiktif pada bidang B jika pengaruh viskos diabaikan. Sehingga persamaan (2.6) menjadi:



$$\begin{aligned}
R_T = & \int_{-W/2}^{W/2} \int_{-H}^{\zeta_B} \Delta P dz dy + \rho / 2 \int_{-W/2}^{W/2} \int_{-H}^{\zeta_B} (u^2 - \underline{u}^2) dz dy \\
& + \rho g / 2 \int_{-W/2}^{W/2} \zeta_B^2 dy + \rho / 2 \int_{-W/2}^{W/2} \int_{-H}^{\zeta_B} (v^2 + w^2 - u^2) dz dy
\end{aligned} \quad (2.7)$$

Dengan \underline{u} , \underline{v} , \underline{w} sebagai gelombang yang mengelilingi dan dapat diperoleh dengan mengukur pola gelombang pada bidang B, serta memakai teori gelombang linear, dimana:

$$\begin{aligned}
u^2 &= \underline{u}^2 + (u^2 - \underline{u}^2) \\
v^2 &= \underline{v}^2 + (v^2 - \underline{v}^2) \\
w^2 &= \underline{w}^2 + (w^2 - \underline{w}^2)
\end{aligned} \quad (2.8)$$

Akhirnya tahanan gelombang seluruhnya dapat ditulis dalam bentuk sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
R_T = & \int_{-W/2}^{W/2} \int_{-H}^{\zeta_B} \Delta P dz dy + \rho / 2 \int_{-W/2}^{W/2} \int_{-H}^{\zeta_B} (u^2 - \underline{u}^2) dz dy \\
& + \rho g / 2 \int_{-W/2}^{W/2} \zeta_B^2 dy + \rho / 2 \int_{-W/2}^{W/2} \int_{-H}^{\zeta_B} (\underline{v}^2 + \underline{w}^2 - \underline{u}^2) dz dy \\
& + \rho / 2 \int_{-W/2}^{W/2} \int_{-H}^{\zeta_B} [(v^2 - \underline{v}^2) + (w^2 - \underline{w}^2) - (u^2 - \underline{u}^2)] dz dy
\end{aligned} \quad (2.9)$$

Baris pertama pada persamaan (2.9) adalah tahanan akibat pengaruh viskos, baris kedua menunjukkan tahanan gelombang dan baris ketiga adalah penahan yang dapat diabaikan.

Baris kedua persamaan (2.9) dapat ditulis kembali sebagai berikut:

$$R_w = \rho g / 2 \int_{-W/2}^{W/2} \zeta_B^2 dy + \rho / 2 \int_{-W/2}^{W/2} \int_{-H}^{\zeta_B} (\underline{v}^2 + \underline{w}^2 - \underline{u}^2) dz dy \quad (2.10)$$

Atau dalam bentuk lain:

$$R_W = \rho g / 2 \int_{-W/2}^{W/2} \zeta^2 dy + \rho / 2 \int_{-W/2}^{W/2} \int_{-H}^{\zeta_B} (\phi_y^2 + \phi_z^2 - \phi_x^2) dz dy \quad (2.11)$$

Dimana ζ adalah tinggi sistem gelombang di ujung bidang, dan ϕ_x, ϕ_y, ϕ_z didapat dari turunan kecepatan potensial ujung bidang ϕ_{FF} yang mengacu pada x, y, z (lihat persamaan 2.3). Lebih jauh, dengan menghitung integral, lihat Insel [7]:

$$\int_{-W/2}^{W/2} \zeta_B^2 dy, \int_{-W/2}^{W/2} \int_{-H}^0 \phi_x^2 dz dy, \int_{-W/2}^{W/2} \int_{-H}^0 \phi_y^2 dz dy, \int_{-W/2}^{W/2} \int_{-H}^0 \phi_z^2 dz dy \quad \text{dan disubstitusi ke}$$

persamaan (2.11), tahanan gelombang badan kapal adalah:

$$R_W = \frac{\rho g W}{4} \left\{ \left(\xi_0^2 + \eta_0^2 \right) \left(1 - \frac{2 K_0 H}{\sinh(2 K_0 H)} \right) + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\xi_n^2 + \eta_n^2 \right) \left[1 - \frac{\cos^2 \theta_n}{2} \left(1 + \frac{2 K_n H}{\sinh(2 K_n H)} \right) \right] \right\} \quad (2.12)$$

Maka untuk menghitung tahanan gelombang maka harus ditentukan koefisien amplitudo gelombang ξ_n dan η_n , yang didapat dari sistem gelombang di ujung bidang.

Kecepatan potensial source di ujung bidang pada (x_0, y_0, z_0) didapat dari batas kecepatan potensial source dengan mengambil $x \rightarrow \infty$

$$\phi_{FF} = \lim_{x \rightarrow \infty} \phi(x, y, z) \quad (2.13)$$

dimana $\phi(x, y, z)$ = kecepatan potensial source di perairan dangkal tak terbatas dengan kedalaman H [lihat 10].

$$\phi(x, y, z) = -\sigma J_1 + 4 \sigma / \pi J_2 + 4 \sigma J_3 \quad (2.14)$$

sehingga:

$$\phi_{FF} = -\sigma \lim_{x \rightarrow \infty} J_1 + \frac{4\sigma}{\pi} \lim_{x \rightarrow \infty} J_2 + 4\sigma \lim_{x \rightarrow \infty} J_3 \quad (2.15)$$

Insel [7] mendefinisikan J_1, J_2, J_3 dan penggunaan batas (limit) J_1, J_2, J_3 untuk $x \rightarrow \sim$, kecepatan potensial di ujung bidang pada persamaan (2.15) menjadi:

$$\phi_{FF} = \frac{16\pi\sigma}{W} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{e^{-K_m H} \cosh(K_m(H+z_0))(K_0 + K_m \cos^2 \theta_m)}{(1 - K_0 H \operatorname{sech}^2(K_m H) + \sin^2 \theta_m)} \frac{1}{K_m \cos \theta_m} \frac{\cosh(k(z+H))}{\cosh(kH)} \sin(K_m(x-x_0)\cos\theta_m) \frac{\cos(K_m y \sin \theta_m) \cos(K_m y_0 \sin \theta_m)}{\sin(K_m y \sin \theta_m) \sin(K_m y_0 \sin \theta_m)} \quad (2.16)$$

Dari kecepatan source di ujung bidang seperti yang ditunjukkan dalam persamaan diatas, sistem gelombang di ujung bidang diperoleh sebagai berikut:

$$\zeta = \frac{U}{g} \phi_x \quad \text{di } z = 0 \quad (2.17)$$

dimana ϕ_x = turunan ϕ_{FF} berkenaan dengan x dan substitusi $z = 0$, sehingga:

$$\zeta = \frac{16\pi U}{Wg} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{e^{-K_m H} \cosh(K_m(H+z_0))(K_0 + K_m \cos^2 \theta_m)}{(1 - K_0 H \sec^2 h^2(K_m H) + \sin^2 \theta_m)} \cos(K_m(x-x_0)\cos\theta_m) \frac{\cos(K_m y \sin \theta_m) \cos(K_m y_0 \sin \theta_m)}{\sin(K_m y \sin \theta_m) \sin(K_m y_0 \sin \theta_m)} \quad (2.18)$$

atau dalam bentuk yang lebih sederhana, untuk model kapal dengan kumpulan sumber (source):

$$\zeta = \sum_{m=0}^{\infty} \left[\frac{\xi_m}{\alpha_m} \cos(W_m x) + \frac{\eta_m}{\beta_m} \sin(W_m x) \right] \frac{\cos(m\pi y / W)}{\sin(m\pi y / W)} \quad (2.19)$$

Dimana ξ_m, η_m dan faktor \cos diaplikasikan untuk m genap, sedangkan α_m, β_m dan faktor \sin untuk m ganjil. Untuk model kapal simetris berhubungan dengan centreline tangki, persamaan (2.19) digambarkan dengan hanya mengambil faktor genap, sehingga:

$$\zeta = \sum_{n=0}^{\infty} [\xi_n \cos(W_n x) + \eta_n \sin(W_n x)] \cos(2n\pi y / W) \quad (2.20)$$

atau dalam bentuk umum persamaan (3.20) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\zeta = \sum_{n=0}^{\infty} \zeta_n \cos(W_n x + \varepsilon) \cos(2n\pi y / W) \quad (2.21)$$

dimana

$$\zeta_n^2 = \xi_n^2 + \eta_n^2 \quad (2.22)$$

$$\xi_n = \sum_{WS} \sigma_0 \tau_n \cos(2n\pi y_0 / W) \cos(w_n x_0) \quad (2.23)$$

$$\eta_n = \sum_{WS} \sigma_0 \tau_n \cos(2n\pi y_0 / W) \sin(w_n x_0) \quad (2.24)$$

$$\tau_n = \frac{16\pi U}{Wg} \frac{e^{-K_n H} \cosh(K_n (H + z_0))}{1 - K_0 H \sec h^2(K_n H) + \sin^2 \theta_n} \quad (2.25)$$

Dengan mensubstitusi ξ_n dan η_n ke persamaan (2.16) sehingga kecepatan potensial ujung bidang source untuk model kapal simetris terhadap centreline tangki dapat ditulis sebagai berikut:

$$\phi_{FF} = \frac{g}{U} \sum_{n=0}^{\infty} [-\eta_n \cos(w_n x) + \xi_n \sin(w_n x)] \frac{1}{K_n \cos \theta_n} \frac{\cosh(K_n (z + H))}{\cosh(K_n H)} \cos(2n\pi y / W) \quad (2.26)$$

Persamaan (2.24) dan (2.25) merupakan komponen amplitudo gelombang dari sistem gelombang di ujung bidang dan dapat ditulis dalam bentuk lengkap sebagai berikut:

$$\left| \frac{\xi_n}{\eta_n} \right| = \frac{16\pi U}{Wg} \frac{K_0 + K_n \cos^2 \theta_n}{1 + \sin^2 \theta_n - K_0 H \operatorname{sech}^2(K_n H)} \quad (2.27)$$

$$\sum_{\sigma} \left[-\sigma_{\sigma} e^{-K_n H} \cosh[K_n (H + z_0)] \begin{vmatrix} \cos(K_n x_{\sigma} \cos \theta_n) \\ \sin(K_n x_{\sigma} \cos \theta_n) \end{vmatrix} \begin{Bmatrix} \cos \frac{n\pi y_{\sigma}}{W} \\ \sin \frac{n\pi y_{\sigma}}{W} \end{Bmatrix} \right]$$

Bentuk akhir cos digunakan untuk n genap dan bentuk akhir sin untuk n ganjil. Ketetapan koefisien ini disebut juga koefisien Eggers memerlukan kekuatan source dari semua badan kapal yang akan dihitung.

2.2. Tahanan Gelombang Berdasarkan Thin Ship Theory

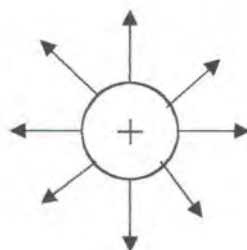
Metode untuk menyelesaikan masalah tahanan gelombang badan kapal yang bergerak bebas di permukaan fluida tergantung pada substitusi gerak badan kapal di fluida dengan gerak sistem source yang serupa. Dengan metode ini, penyelesaian masalah pada tahanan gelombang untuk bentuk hull tertentu telah dihasilkan dan dikembangkan, sehingga memungkinkan untuk mencari metode analitis untuk menghitung dan menganalisis tahanan gelombang kapal yang bergerak.

Hasil metode ini adalah pola gelombang yang diperoleh dari source dapat didistribusikan menjadi dua metode umum. Pertama dengan mendistribusikan sumber (source) ke seluruh daerah permukaan bebas dimana jarak gelombang terbesar berada. Metode kedua dengan mendistribusikan source ke seluruh bidang vertikal garis tengah (centreline) bidang hull yang simetris sebagaimana yang digunakan dalam thin ship theory.

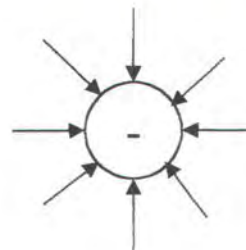
Thin ship theory atau teori lambung tipis tahanan gelombang pertama kali diperkenalkan oleh Michell (1898) sebagai pendekatan analitis murni dalam memprediksi tahanan gelombang kapal. Ia juga yang pertama kali mengemukakan pengaruh tahanan gelombang dari bentuk kapal. Michell menemukan kecepatan potensial dan tahanan gelombang untuk gerakan terbatas kapal pada permukaan fluida tanpa kekentalan. Asumsi dasar teori ini adalah lambung kapal tipis, atau lebarnya kecil dibandingkan seluruh skala panjang.

Thin ship theory digunakan untuk menggantikan badan kapal dengan sistem distribusi source-sink karena dapat memodelkan badan dengan baik, khususnya untuk lambung kapal yang panjang dan runcing. Teori ini menghitung kekuatan source (sumber) pada tiap bagian atau panel yang didistribusikan ke seluruh garis tengah (centreline) bidang lambung, dapat digunakan untuk menghitung pola tahanan gelombang lambung yang digunakan.

Source (sumber) adalah aliran dimana fluida memancar secara uniform dari titik pusat ke segala arah, jadi kecepatan di pusat merupakan kecepatan fluida yang tak terhingga besarnya. Sink adalah kebalikan dari source. Suatu bola yang titik pusatnya berimpit dengan titik pusat source, maka volume air yang melewati permukaan bola tadi di setiap satuan waktu merupakan kekuatan source tersebut.



Source (sumber)



Sink (sumur)

Singkatnya, thin ship theory ini hanya berlaku bagi kondisi tertentu sebagai berikut:

- a. Fluida diasumsikan tidak melekat (bergerak bebas) dan mengalir lurus (tidak berputar) dan tetap (steady). Berdasarkan hal ini gerakan dapat dispesifikasikan sebagai kecepatan potensial ϕ , dengan tambahan harus memenuhi kondisi batas (boundary) yang diperlukan. Serta tinggi gelombang lebih kecil dibandingkan panjang gelombang.
- b. Lebar badan kapal lebih kecil bila dibandingkan dengan panjangnya, sehingga kemiringan permukaan terhadap centreline kapal kecil.
- c. Gelombang yang diakibatkan kapal memiliki tinggi lebih kecil bila dibandingkan dengan panjangnya, dengan demikian luasan partikel kecepatan dapat diabaikan bila dibandingkan dengan kecepatan kapal.
- d. Kapal tidak mengalami trim atau sinkage.

Kondisi batas untuk memenuhi kecepatan potensial ϕ adalah:

- a. Pada semua titik pada permukaan badan kapal (hull), kecepatan normal pada hull harus sama dengan nol.
- b. Tekanan dimanapun pada permukaan bebas air harus konstan dan sama dengan tekanan atmosfer.

Untuk membuat kondisi sesuai dengan perhitungan matematisnya, Michell mengasumsikan bahwa kondisi batas pertama dapat diaplikasikan pada centerline kapal daripada terhadap permukaan hull sebenarnya, sehingga hasil dapat digunakan sepenuhnya untuk kapal lambung tipis (thin ship theory).

Kecepatan potensial ϕ menunjukkan bahwa kecepatan aliran pada berbagai arah merupakan turunan parsial ϕ dengan mengacu pada arah tersebut. Sehingga untuk aliran uniform dari kecepatan U pada arah x negatif, kecepatan potensial didefinisikan sbb:

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = -U \quad \text{atau} \quad \phi = -U x$$

dan

$$\frac{\partial \phi}{\partial y} = \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0$$

Kecepatan pada permukaan lambung adalah nol.

$$U \frac{dy}{dx} + \phi_y = 0 \quad (2.28)$$

Aliran dari kekuatan source σ ke arah sumbu y adalah:

$$\phi_y = 2\pi\sigma \quad (2.29)$$

dari substitusi persamaan (2.29) ke dalam persamaan (2.28), maka kekuatan dari source adalah:

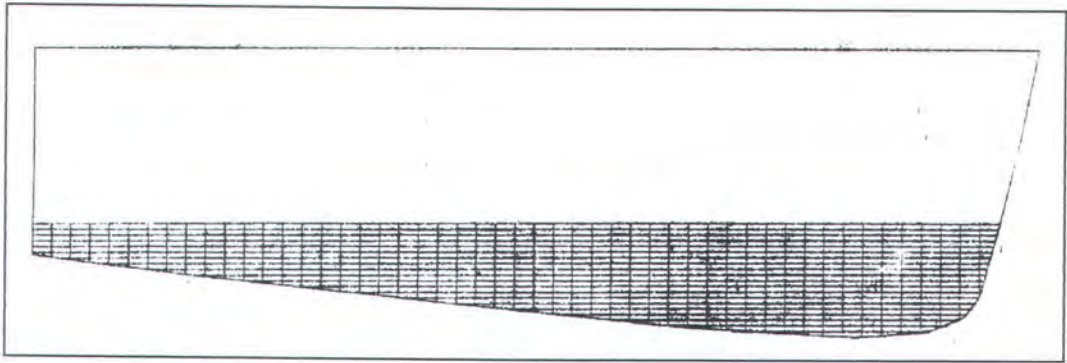
$$\sigma = -\frac{U dy}{2\pi dx} \quad (2.30)$$

Asumsi pada teori lambung tipis digunakan untuk menghubungkan kekuatan source ke bentuk badan/lambung, pada kasus ini, titik source didistribusikan pada titik pusat setiap panel sepanjang centreline bidang dari lambung (hull) yang simetris. Persamaan (2.30) menyatakan bahwa kekuatan source setempat sebanding dengan kemiringan dari garis air secara memanjang, dan kekuatan source secara sederhana dapat dihitung sebagai pengganti dari definisi lambung.

Untuk tujuan perhitungan numerik, sangat tepat jika membagi bidang garis tengah dari lambung menjadi jaringan panel berbentuk empat persegi panjang



(Gambar 2.3). Kontribusi tiap panel dihitung dengan mengganti distribusi source yang sama pada setiap panel dengan titik source yang terletak pada titik tengah setiap panel.



Gambar 2.3. Distribusi panel source melewati bidang garis tengah lambung

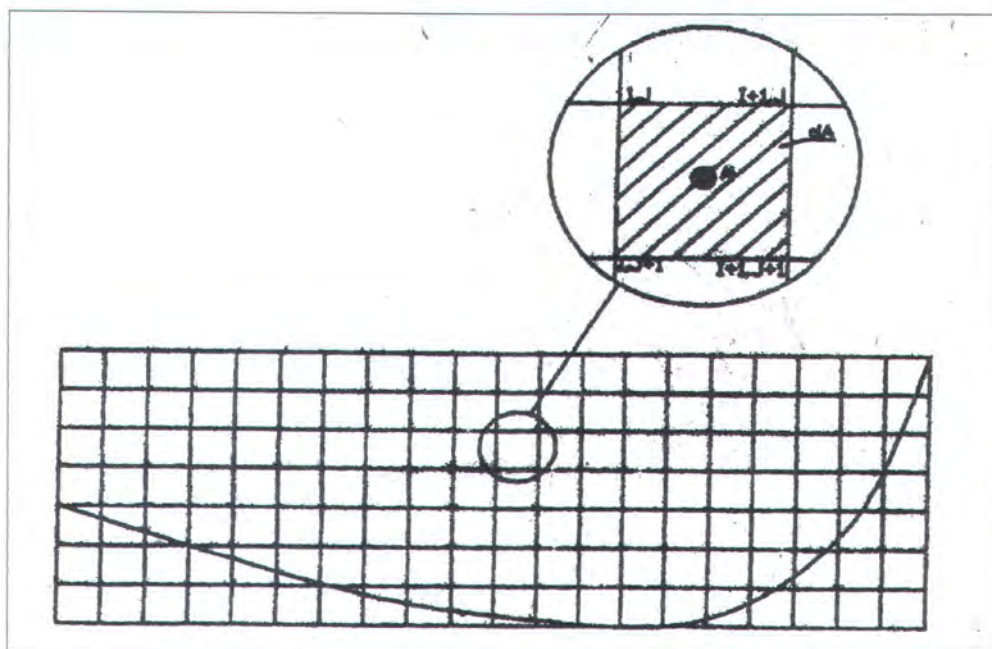
Karena itu setiap panel mempunyai total kepadatan dari kekuatan source:

$$\sigma = -\frac{U}{2\pi} \frac{dy}{dx} dA \quad (2.31)$$

dimana dA adalah luasan panel. Untuk menggambarkan lambung, diskretisasi dilakukan dengan memilih jumlah dari garis air dan seksi. Molland [5] yang menggunakan rumus Egger untuk tahanan gelombang, menemukan bahwa sekitar 18 garis air dan 30 seksi diperlukan dan selain itu, perbedaan dalam prediksi hasil menjadi makin kecil bila jumlah panel makin banyak. Molland juga menyatakan bahwa efek garis air yang tidak paralel dapat diabaikan dibandingkan garis air yang paralel saat kapal dalam kondisi trim diperhitungkan. Semakin banyak jumlah dari garis air dan seksi akan mendapat hasil yang lebih meyakinkan.

Kemiringan garis air lokal pada tengah tiap-tiap panel dapat dihitung dengan central-finite-difference sebagai berikut (Gambar 2.4):

$$\frac{[(y_{i+1,j} + y_{i+1,j+1}) - (y_{i,j} + y_{i,j+1})]}{2(x_{i+1} - x_i)} \quad (2.32)$$



Gambar 2.4. Kekuatan source di pusat tiap-tiap panel

Kemudian untuk mengetahui kontribusi setiap panel terhadap tinggi gelombang, kekuatan pada tiap-tiap titik source di kedalaman tiap panel $z_0(i,j)$ dan sepanjang posisi aksial $x_0(i)$ dari lambung, dihitung lebih dahulu. Jika telah diketahui, koefisien gelombang dari Egger ξ dan η dapat dicari dengan persamaan (2.27). Akhirnya dari amplitudo gelombang ξ dan η dengan harmonik pada persamaan (2.12) di bawah ini, memberikan pola tahanan gelombang seluruhnya:

$$R_w = \frac{\rho g W}{4} \left\{ (\xi_0^2 + \eta_0^2) \left(1 - \frac{2K_0 H}{\sinh(2K_0 H)} \right) + \sum_{n=1}^{\infty} (\xi_n^2 + \eta_n^2) \left(1 + \frac{\cos^2 \theta_n}{2} \left(1 + \frac{2K_n H}{\sinh(2K_n H)} \right) \right) \right\}$$

Untuk badan dengan transom, diperlukan koreksi karena thin ship theory hanya dapat dimodelkan untuk kapal berbadan tipis, slender dan panel source tidak dapat diterapkan di transom pada pendekatan slender body. Saat kapal berjalan, transom tidak tertutup akan ada penurunan source yang menyebabkan perkiraan tahanan kurang tepat. Koreksi hidrostatik yang diterapkan disini

memberikan perkiraan yang masuk akal pada tahanan gelombang, khususnya dalam jangkauan angka Froude dimana kapal dioperasikan.

$$R_{trans} = \rho g \int_0^{T_{trans}} z \cdot y_{trans}(z) dz \quad (2.33)$$

Dimana R_{trans} adalah koreksi tahanan transom yang ditambahkan pada tahanan gelombang. Setengah lebar bidang transom pada kedalaman z digambarkan oleh $y_{trans}(z)$.

2.3. Tahanan Kapal yang Dihasilkan dari Percobaan Model

Percobaan model kapal dilakukan di tangki percobaan untuk memprediksi besarnya gaya, tekanan, momen dan beberapa parameter lain termasuk tahanan yang akan digunakan pada benda sebenarnya. Untuk mendapatkan karakteristik yang sama, maka model kapal tersebut dibuat menyerupai model sebenarnya dengan skala yang lebih kecil, kemudian hasil yang didapatkan diestimasi.

Sebagai ganti perhitungan matematis, percobaan model merupakan sarana yang sering dipakai untuk mempelajari hidrodinamika kapal. Percobaan ini dilakukan di tangki percobaan atau di tangki yang airnya bersirkulasi. Tangki percobaan tersebut harus dilengkapi dengan alat untuk mengukur gaya dan kecepatan yang ditimbulkan kapal.

Dalam melakukan percobaan model untuk menentukan tahanan kapal, model tersebut bebas melakukan gerakan luncur (*surge*), angkat (*heave*), oleng (*roll*), dan angguk (*pitch*). Gerakan luncur dibatasi oleh dinamometer atau balans yang diletakkan di antara model dan kereta penarik. Karena simetri, keolengan

yang terjadi pada umumnya boleh dikatakan nol. Gerakan angkat dan trim dapat dicatat pada pemandu trim atau dicatat oleh trim meter.

Gaya yang menarik model, dalam rentang kecepatan yang mencakup kecepatan yang penting untuk kapal yang bersangkutan, dicatat oleh dinamometer tahanan. Dengan menghubungkan semua titik tahanan ini dalam diagram berdasarkan kecepatan, maka akan diperoleh kurva tahanan model tersebut. Kurva ini kemudian ditransformasi menjadi kurva tahanan kapal.

Metode perhitungan, akurasi peralatan pengukuran dan faktor perbedaan aliran menyebabkan hasil percobaan memiliki sejumlah error, sehingga memerlukan beberapa koreksi terhadap hasil yang didapatkan. Untuk memenuhi akurasi atau ketepatan nilai koreksi itulah seringkali percobaan dilakukan dengan menggunakan model dengan skala besar untuk memenuhi angka Reynolds.

Model kapal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu bentuk NPL dan Series 64 memiliki bilga bulat dengan transom. Gaya tarik model dilakukan searah horisontal. Titik pusat penarikan di semua percobaan dikondisikan pada titik berat memanjang (LCG) kapal dan pada sepertiga tinggi efektif dari sarat diatas lunas. Material model terbuat dari busa polyurethane (foam) dan dipotong dengan mesin NC. Teknik produksi memungkinkan untuk menghasilkan model dengan tingkat akurasi tinggi tetapi berharga murah.

Semua model dibawa ke tangki percobaan di Southampton Institute of Higher Education dan memiliki ukuran sebagai berikut:

Panjang tangki L = 60 m

Lebar tangki B = 3,7 m

Kedalaman tangki D = 1,85 m

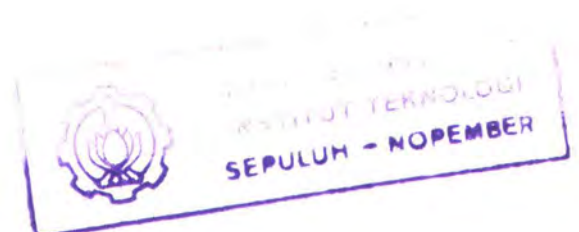
Kecepatan maksimum kereta penarik = 4,6 m/s

Tangki percobaan ini mempunyai kereta penarik yang diperlengkapi dengan dinamometer untuk mengukur tahanan total model ditunjang dengan perangkat komputer serta fasilitas instrumen untuk mendapatkan data yang akurat.

Tahanan total di perairan tenang dan analisis pola gelombang saat dilakukannya percobaan berlaku untuk semua model. Pada batas angka Froude antara 0,1 hingga 1,0 berhubungan dengan batas angka Reynolds (R_n) yang digunakan sebesar $0,5 \times 10^6$ hingga $5,5 \times 10^6$.

BAB 3

PERHITUNGAN TAHANAN GELOMBANG



BAB 3

PERHITUNGAN TAHANAN GELOMBANG

3.1. Tahanan Gelombang dari Percobaan Model

Dalam bab ini bentuk badan kapal yang digunakan, studi parameter, serta garis besar area penelitian diuraikan. Dua bentuk lambung kapal yang digunakan untuk keperluan penelitian tersebut yaitu NPL dan Series 64, yang kemudian diteliti lebih lanjut setelah bentuk lambungnya tidak hanya digunakan untuk peralatan percobaan model, tapi juga dibuat dalam ukuran sebenarnya. Keduanya memiliki transom dan bilga bulat tapi berbeda bentuk. Oleh karena itu modifikasi terhadap teori dibuat dengan menggunakan koreksi hidrostatik. Model NPL yang dipilih merupakan model C5 yang digunakan dalam penelitian percobaan oleh Ship Science Department. Model Series 64 yang dipilih memiliki rasio perbandingan panjang dan displasemen ($L/\nabla^{1/3}$) yang sama dengan bentuk NPL.

3.1.1 Bentuk Lambung NPL

Model induk seperti yang tampak dalam Gambar 3.1. memiliki ukuran sebagai berikut:

L	=	1,60 m	L/B	=	11
B	=	0,1454 m	B/T	=	2,0
T	=	0,0727 m	Cb	=	0,397
WSA	=	0,276 m ²	Cp	=	0,693

$\frac{L}{\nabla^{1/3}}$	=	8,5	C_m	=	0,565 (Cm max = 0,573)
$\frac{A_{transom}}{A_{midship}}$	=	0,524	C_w	=	0,762

3.1.2. Bentuk Lambung Series 64

Model ini berguna untuk meneliti efek dari dua jenis bentuk lambung yang berbeda dalam hal tahanan gelombang. Body plan lambung ini dapat dilihat pada Gambar 3.2. Untuk perbandingan, model induk Series 64 yang dipilih memiliki rasio perbandingan panjang dan displasemen yang sama, sebagai parameter utama yang mempengaruhi perubahan tahanan gelombang diantara parameter lain seperti L/B, B/T. Ukuran lambung adalah sebagai berikut:

L	=	1,60 m	L/B	=	12,784
B	=	0,125 m	B/T	=	2,0
T	=	0,063 m	Cb	=	0,5377
WSA	=	0,262 m ²	Cp	=	0,6339
$\frac{L}{\nabla^{1/3}}$	=	8,475	C_m	=	0,8483
			C_w	=	0,7592

Pada penelitian perkiraan teoritis tahanan gelombang ini terdapat penganalisaan yang harus diperhatikan, yaitu analisa tahanan gelombang dan koefisien tahanan gelombang untuk semua lambung kapal monohull. Parameter

penelitian dikerjakan berdasarkan angka Froude dan perbandingan rasio seperti panjang terhadap displasemen, panjang terhadap lebar, dan lebar terhadap sarat. Hasilnya dapat digunakan untuk mempelajari dan menampilkan pengaruh parameter-parameter ini terhadap timbulnya gelombang dan tahanan gelombang.

Parameter yang digunakan dalam parameter penelitian untuk model akan divariasikan dengan parameter model induk dan tahanan gelombang dihitung kemudian.

Pada monohull, program dijalankan untuk range angka Froude dari 0,2 hingga 1,0. Tahanan gelombang dan koefisien tahanan gelombang dihitung dan ditampilkan dalam diagram. Parameter penelitian digunakan untuk semua bentuk hull. Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 menunjukkan parameter penelitian untuk bentuk monohull NPL dan Series 64. Terdapat 19 macam susunan untuk NPL dan Series 64 seperti yang terdapat dalam tabel dan sesuai dengan 16 model, karena satu model kebetulan sama dalam satu set baris. Umumnya, parameter penelitian untuk monohull dapat ditulis sebagai berikut:

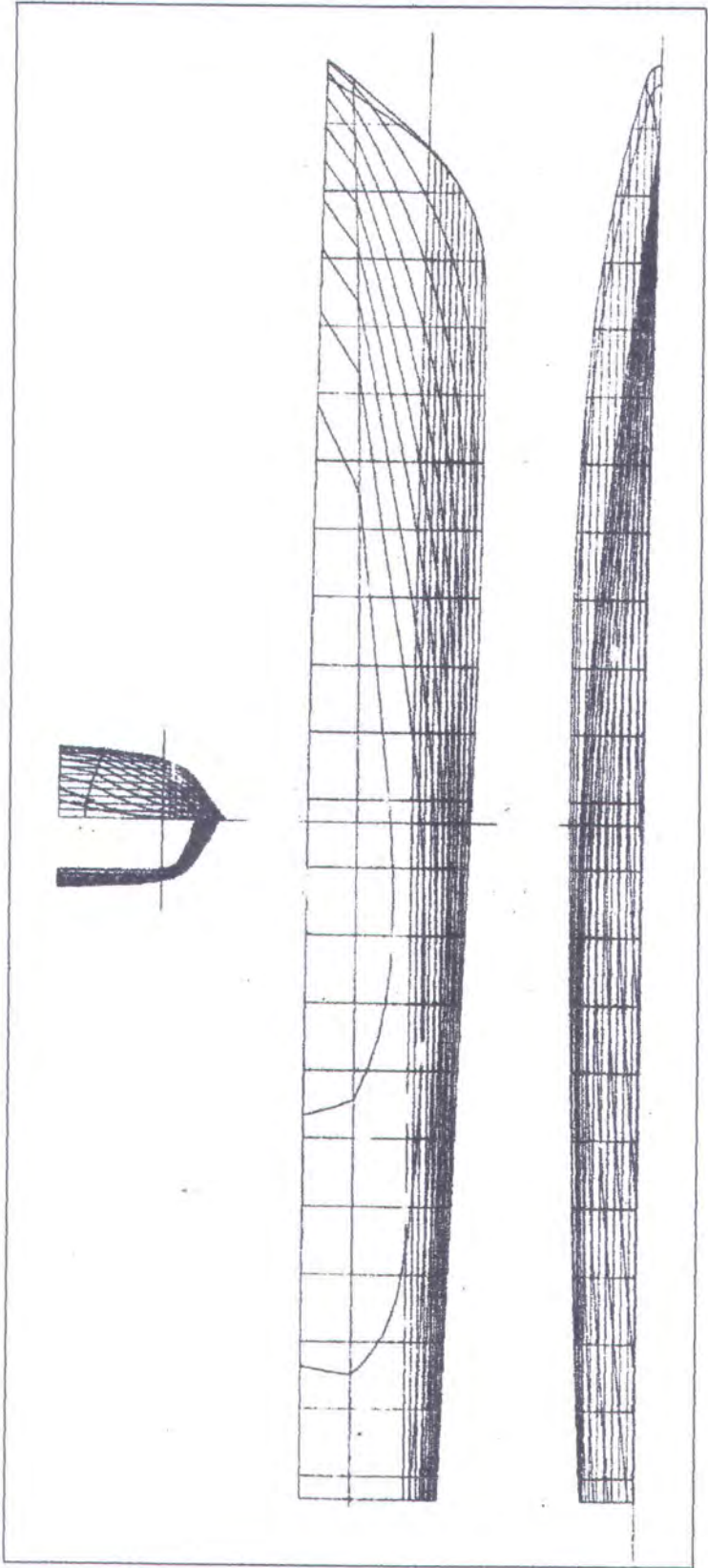
- Variasi harga L/B untuk B/T konstan, atau berbagai macam L dengan B dan T konstan.
- Variasi harga B/T untuk L/B konstan, atau berbagai macam T dengan L dan B konstan.
- Variasi L pada B konstan untuk displasemen tetap.
- Variasi B pada L konstan untuk displasemen tetap.

Tabel 3.1: Model induk NPL

L =	1,6 m	L/B =	11	Cb =	0,397
B =	0,1455 m	B/T =	2	Cp =	0,693
T =	0,0727 m	L/V ^{1/3} =	8,48	Cm =	0,565
WSA =	0,276 m ²	∇ =	0,006719 m ²	Cw =	0,7557

Parameter penelitian

model	L/B	B/T	L	B	T	∇	L/V ^{1/3}	WSA
Variasi harga L/B, parameter lainnya konstan								
1	5,00	2,00	0,72727	0,14545	0,07272	0,003054	5,0127	0,125
2	11,00	2,00	1,60000	0,14545	0,07272	0,006719	8,4792	0,276
3	15,00	2,00	2,18182	0,14545	0,07272	0,009162	10,4269	0,376
4	20,00	2,00	2,90909	0,14545	0,07272	0,012216	12,6313	0,502
Variasi harga B/T, parameter lainnya konstan								
5	11,00	1,50	1,60000	0,14545	0,09697	0,008959	7,7036	0,325
6	11,00	2,00	1,60000	0,14545	0,07273	0,006719	8,4789	0,276
7	11,00	2,50	1,60000	0,14545	0,05818	0,005376	9,1337	0,247
Variasi harga L pada B konstan untuk displasemen tetap								
8	5,00	0,91	0,72727	0,14545	0,16000	0,006719	3,8541	0,212
9	8,25	1,50	1,20000	0,14545	0,09697	0,006719	6,3592	0,244
10	11,00	2,00	1,60000	0,14545	0,07272	0,006719	8,4792	0,276
11	13,75	2,50	2,00000	0,14545	0,05818	0,006719	10,5988	0,308
12	15,00	2,73	2,18182	0,14545	0,05333	0,006719	11,5624	0,324
13	20,00	3,64	2,90909	0,14545	0,04000	0,006719	15,4163	0,391
Variasi harga L pada B konstan untuk displasemen tetap								
14	5,00	9,68	1,60000	0,32000	0,03306	0,006719	8,4792	0,402
15	9,84	2,50	1,60000	0,16262	0,06505	0,006719	8,4791	0,276
16	11,00	2,00	1,60000	0,14545	0,07272	0,006719	8,4792	0,276
17	12,70	1,50	1,60000	0,12596	0,08398	0,006719	8,4791	0,282
18	15,00	1,08	1,60000	0,10667	0,09917	0,006719	8,4790	0,301
19	20,00	0,61	1,60000	0,08000	0,13223	0,006719	8,4790	0,365



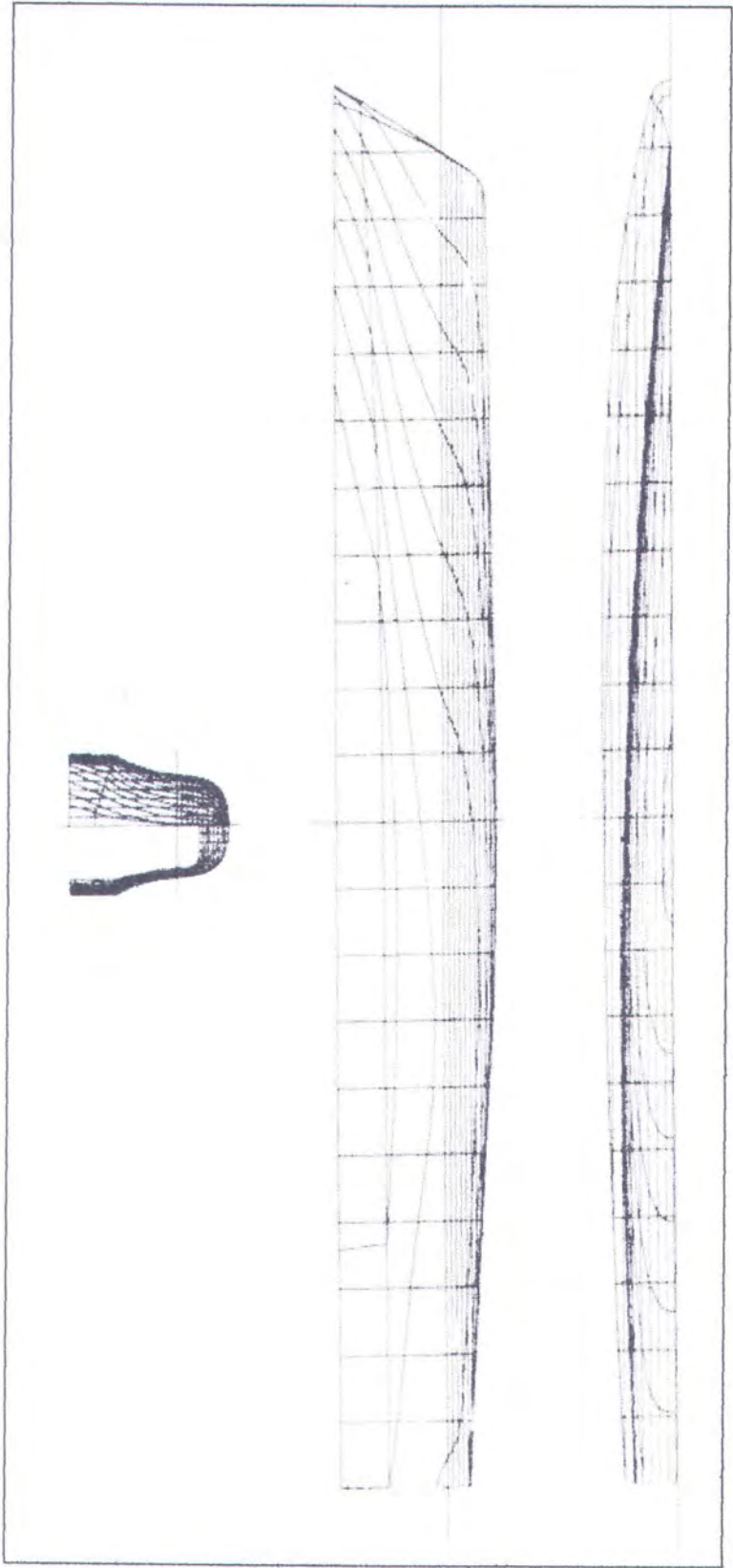
Gambar 3.1. Model NPL

Tabel 3.2: Model induk Series 64

L =	1,6 m	L/B =	12,784	Cb =	0,5377
B =	0,1252 m	B/T =	2	Cp =	0,6339
T =	0,0626 m	L/ $\nabla^{1/3}$ =	8,475	Cm =	0,8483
WSA =	0,2617 m ²	∇ =	0,006739 m ²	Cw =	0,7592

Parameter penelitian

model	L/B	B/T	L	B	T	∇	L/ $\nabla^{1/3}$	WSA
Variasi harga L/B, parameter lainnya konstan								
1	5,00	2,00	0,62578	0,12516	0,06258	0,002635	4,5305	0,102
2	12,78	2,00	1,59998	0,12516	0,06258	0,006738	8,4711	0,262
3	15,00	2,00	1,87733	0,12516	0,06258	0,007906	9,4238	0,307
4	20,00	2,00	2,50310	0,12516	0,06258	0,010541	11,4161	0,409
Variasi harga B/T, parameter lainnya konstan								
5	12,78	1,50	1,60000	0,12516	0,08344	0,008984	7,6966	0,309
6	12,78	2,00	1,60000	0,12516	0,06258	0,006738	8,4712	0,262
7	12,78	2,50	1,60000	0,12516	0,05006	0,005390	9,1253	0,234
Variasi harga L pada B konstan untuk displasemen tetap								
8	5,00	0,78	0,62578	0,12516	0,16003	0,006739	3,3130	0,192
9	9,59	1,50	1,20019	0,12516	0,08344	0,006739	6,3541	0,230
10	12,78	2,00	1,60025	0,12516	0,06258	0,006739	8,4721	0,262
11	15,00	2,35	1,87733	0,12516	0,05334	0,006739	9,9390	0,283
12	15,98	2,50	2,00032	0,12516	0,05006	0,006739	10,5901	0,291
13	20,00	3,13	2,50310	0,12516	0,04001	0,006739	13,2519	0,333
Variasi harga L pada B konstan untuk displasemen tetap								
14	5,00	13,07	1,60000	0,32000	0,02448	0,006739	8,4707	0,407
15	11,43	2,50	1,60000	0,13994	0,05598	0,006739	8,4707	0,262
16	12,78	2,00	1,60000	0,12516	0,06258	0,006739	8,4707	0,262
17	14,76	1,50	1,60000	0,10840	0,07226	0,006739	8,4707	0,268
18	15,00	1,45	1,60000	0,10667	0,07344	0,006739	8,4707	0,269
19	20,00	0,82	1,60000	0,08000	0,09791	0,006739	8,4707	0,305



Gambar 3.2. Model Series 64

3.2. Perhitungan Tahanan Gelombang dengan Thin Ship Theory

Untuk menghitung tahanan gelombang secara teoritis dengan menggunakan thin ship theory, dipergunakan bantuan perangkat lunak berupa program Delphi release 6.

Ide munculnya Delphi sebenarnya berasal dari bahasa pemrograman yang cukup terkenal, yaitu Pascal. Bahasa Pascal sendiri telah diciptakan pada tahun 1971 oleh ilmuwan Swiss, yaitu Niklaus Wirth. Nama Pascal diambil dari ahli matematika dan filsafat dari Prancis, yaitu Blaise Pascal (1623 – 1662).

Sejak saat itu, muncul beberapa versi Pascal yang kemudian berkembang menjadi bahasa Pascal yang bersifat visual, disebut dengan Delphi. Hingga saat ini dilakukan penyempurnaan bahasa pemrograman Delphi yang menggunakan object Pascal sebagai bahasa dasar

Delphi merupakan perangkat pengembangan aplikasi yang sangat terkenal di lingkungan Windows. Dengan menggunakan perangkat lunak ini kita dapat membangun berbagai aplikasi Windows (permainan, multimedia, database, dan lain-lain) dengan cepat dan mudah. Dengan pendekatan visual, kita dapat menciptakan aplikasi yang canggih (dan pasti akan disukai oleh banyak pemakai) tanpa banyak menuliskan kode. Adapun tampilan yang digunakan dalam program perhitungan tahanan gelombang ini adalah aplikasi non-Windows, artinya program dapat dijalankan pada level DOS dan disebut aplikasi konsol

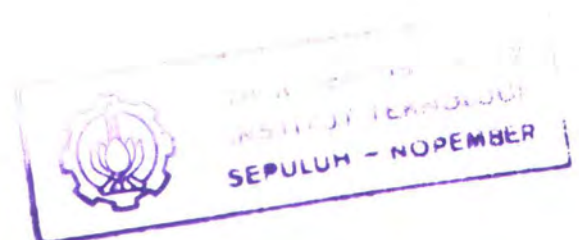
Program ini menghitung tahanan gelombang dan pola gelombang dari suatu model yang bergerak di tangki percobaan rectangular, yang memiliki lebar dan kedalaman, dengan kecepatan konstan.

Tahap-tahap pembuatan program ini terdiri atas satu program utama dan sembilan subprogram. Pembagian ke dalam subprogram memberikan manfaat, yaitu program menjadi lebih mudah dipahami dan mudah dirawat atau mudah dikembangkan. Selain itu subprogram juga dapat mengurangi kebutuhan memori dan duplikasi kode. Program ini terbagi atas:

1. Subprogram TANK, dimana input ukuran tangki ditampilkan disini.
2. Subprogram HULL, merupakan input untuk ukuran model yang akan dihitung tahanan gelombangnya.
3. Subprogram RCONS, yaitu input jumlah gelombang harmonik dan sudut gelombang dimana model akan dijalankan dalam kondisi tersebut.
4. Subprogram CRCONS, untuk menghitung konstanta dalam perhitungan thin ship theory.
5. Subprogram THIN, untuk menghitung kekuatan source dengan thin ship theory berdasarkan permbagian waterline dan station.
6. Subprogram WACOEf, untuk menghitung koefisien gelombang.
7. Subprogram WARES, yaitu perhitungan tahanan gelombang.
8. Subprogram TSRES, untuk menghitung tahanan stern transom.
9. Subprogram WRRES, untuk menampilkan hasil perhitungan keseluruhan yang berupa tahanan gelombang berdasarkan thin ship theory.

BAB 4

ANALISA HASIL



BAB IV

ANALISA HASIL

4.1. Analisa Tahanan Gelombang

Hasil dari percobaan model dan perhitungan teoritis thin ship digambarkan secara grafis dalam berbagai bentuk. Seperti yang terdapat dalam Tabel 3.1 dan 3.2, semua model dijalankan untuk menghitung tahanan gelombang, koefisien tahanan gelombang, dan tahanan transom. Hasil koefisien tahanan gelombang tiap model ditunjukkan dalam Gambar 4.1 hingga 4.19 untuk bentuk NPL, dan 4.20 hingga 4.38 untuk bentuk Series 64.

Sebelum membandingkan kedua model diatas, terlebih dahulu perlu dipahami karakteristik masing-masing model. Dengan mengesampingkan perbedaan bentuk lambung serta koefisien-koefisien bentuk yang ada, model NPL memiliki WSA yang lebih besar dibandingkan model Series 64 (lihat Tabel 3.1 dan 3.2). Rasio panjang dibandingkan displasemen ($L/\nabla^{1/3}$) untuk NPL juga lebih kecil dibandingkan Series 64.

Seperti yang tampak dalam Gambar 4.1 hingga 4.19, perbandingan yang ada dapat diringkas sebagai berikut:

1. Model 1 hingga 4 (lihat Tabel 3.1 dan 3.2): Variasi harga L , parameter lainnya tetap.

Secara umum, koefisien tahanan gelombang bentuk NPL (Gambar 4.1 hingga 4.4) lebih rendah dibandingkan Series 64 (Gambar 4.20 hingga 4.23),

hampir di semua daerah kecepatan. Dari Model 1, perbedaan tahanan gelombang menjadi makin besar dengan bertambahnya harga L/B yang artinya bahwa tahanan gelombang bentuk NPL semakin kecil dengan bertambah besarnya harga L/B .

Rasio $L/\nabla^{1/3}$ meningkat dari Model 1 ke Model 4, dengan kata lain, koefisien tahanan gelombang mengecil meskipun WSA makin besar. Karena itu, rasio panjang per displasemen dinyatakan berpengaruh terhadap tahanan gelombang.

2. Model 5 hingga 7 (lihat Tabel 3.1 dan 3.2): Variasi B/T ; B , L/B dan parameter lainnya tetap.

Variasi rasio B/T pada bentuk NPL (Gambar 4.5 hingga 4.7) memiliki harga yang lebih kecil pada koefisien tahanan gelombang dibanding dengan bentuk Series 64 (Gambar 4.24 hingga 4.26).

Peningkatan rasio panjang per displasemen untuk Model 5 hingga 7 akan menurunkan harga koefisien tahanan gelombang.

3. Model 8 hingga 13 (lihat Tabel 3.1 dan 3.2): Variasi L dan T untuk harga B dan displasemen tetap.

Model 8 hingga 13 menunjukkan perbedaan rasio $L/\nabla^{1/3}$ yang besar, dari $L/\nabla^{1/3} = 3,85$ untuk NPL Model 8 hingga $L/\nabla^{1/3} = 15,2$ untuk NPL Model 13 (lihat Tabel 3.1). Dari Gambar 4.8 hingga 4.13 dan Gambar 4.27 hingga 4.32, tampak bahwa koefisien tahanan gelombang mengecil dari Model 8

sampai Model 13 untuk bentuk NPL dan Series 64. Selain itu, pada harga L/B rendah, koefisien tahanan gelombang semakin meningkat daripada harga L/B yang besar.

4. Model 14 hingga 19 (lihat Tabel 3.1 dan 3.2): Variasi B dan T untuk L dan displasemen tetap.

Model 14 hingga 19 memiliki displasemen dan rasio $L/V^{1/3}$ tetap, tapi L/B dan B/T mengalami perubahan. Model-model ini digunakan untuk mengetahui pengaruh harga L/B terhadap tahanan gelombang. Seperti yang tampak di Gambar 4.14 hingga 4.19 untuk NPL dan Gambar 4.33 hingga 4.38 untuk Series 64, peningkatan harga L/B dari 5 ke $L/B = 20$ tidak merubah koefisien tahanan gelombang. Hal ini menunjukkan bahwa L/B bukan merupakan faktor penting yang dapat mempengaruhi tahanan gelombang. Oleh karena itu, rasio $L/V^{1/3}$ memiliki pengaruh lebih dibandingkan L/B.

Dari Model 14 ke 15 diharapkan adanya penurunan harga koefisien tahanan gelombang karena peningkatan harga L/B, tapi hal tersebut tidak terbukti. Terdapat penurunan koefisien tahanan gelombang pada Model 15 dibandingkan dengan Model 14 untuk kedua bentuk NPL dan Series 64. Mungkin ini dikarenakan perbedaan yang besar pada harga B/T.

Hasil penelitian diatas menunjukkan bahwa untuk kapal monohull, bentuk NPL memiliki tahanan gelombang yang lebih kecil pada kecepatan yang lebih

tinggi dibandingkan dengan bentuk Series 64. Tapi di kecepatan rendah, seperti pada angka Froude 0,3 sampai 0,4 dan harga L/B kurang dari sekitar 12,8, bentuk Series 64 menghasilkan koefisien tahanan gelombang yang lebih kecil. Hal ini tampaknya karena harga koefisien prismatik yang rendah pada bentuk Series 64.

Akan tetapi, pada harga L/B yang besar, bentuk NPL memberikan tampilan yang lebih baik dalam tahanan gelombang untuk semua batas kecepatan. Penurunan tahanan gelombang di kecepatan rendah dikarenakan bentuk Series 64 tidak hanya memiliki harga koefisien prismatik yang rendah, tetapi juga memiliki WSA yang lebih kecil dibandingkan bentuk NPL.

4.1.1. Efek perubahan rasio L/B

Dengan peningkatan rasio L/B dan angka Froude, bentuk NPL menghasilkan koefisien tahanan gelombang yang kecil dibanding bentuk Series 64 di seluruh batas kecepatan.

4.1.2. Efek perubahan rasio B/T

Analisa pada Model 5 hingga 7 untuk bentuk NPL dan Series 64 yang memiliki rasio $L/\nabla^{1/3}$ hampir sama antara model-model yang terkait, perubahan rasio lebar per tinggi mempunyai efek yang sangat kecil terhadap tahanan gelombang. Kedua lambung tampak mempunyai koefisien tahanan gelombang yang mirip pada angka Froude yang besar, seperti pada $Fn = 0,4$. Pada angka Froude yang kecil, seperti 0,3 hingga 0,4, bentuk Series 64

mempunyai koefisien tahanan gelombang yang rendah untuk semua model dari 5 hingga 7.

4.1.3. Efek variasi L untuk harga B dan displasemen tetap

Variasi L untuk lebar dan displasemen konstan berarti sama dengan perubahan rasio $L/\nabla^{1/3}$. Kedua bentuk lambung menghasilkan penurunan tahanan gelombang dengan adanya peningkatan rasio $L/\nabla^{1/3}$ seperti tampak pada Model 8 hingga 13 (Tabel 3.1 dan 3.2). Penurunan ini makin tampak pada angka Froude besar. Penelitian menunjukkan bahwa rasio $L/\nabla^{1/3}$ merupakan faktor penting yang mempengaruhi tahanan gelombang kapal.

4.1.4. Efek variasi B untuk harga L dan displasemen tetap

Hal ini berarti bahwa rasio $L/\nabla^{1/3}$ konstan tapi harga L/B dan B/T berbeda-beda. Analisis Model 14 hingga 19 (Tabel 3.1 dan 3.2) menunjukkan untuk kedua lambung, meskipun variasi rasio panjang per lebar kapal sangat besar ($L/B = 5$ sampai 20), koefisien tahanan gelombang yang dihasilkan serupa, khususnya pada kecepatan tinggi dan harga L/B yang besar. Dari analisa diatas makin menunjukkan bahwa rasio $L/\nabla^{1/3}$ merupakan faktor utama yang berpengaruh terhadap tahanan gelombang, dan rasio $L/\nabla^{1/3}$ juga memiliki pengaruh yang lebih besar dibandingkan rasio L/B pada tahanan gelombang.

4.2. Perbandingan Hasil Percobaan Model dengan Perhitungan

Untuk mengetahui hasil dari pendekatan teoritis tahanan gelombang, dilakukan perbandingan antara hasil perhitungan berdasarkan metode Michell dengan percobaan model.

Grafik tahanan gelombang percobaan model NPL dan Series 64 diambil dari referensi yang menganalisa percobaan kedua model diatas [6], dimana percobaan model tersebut dilakukan pada Fn antara 0,2 hingga 1,0, yaitu model beroperasi pada kondisi yang sub kritis. Sedangkan program yang menghitung tahanan gelombang secara teoritis dijalankan pada range $Fn = 0,2 - 1,2$. Perbandingan analisa yang dilakukan pada tahanan gelombang yang dihasilkan hanya pada batas Fn sampai dengan 1,0 saja, disesuaikan dengan batas Fn saat dilakukannya percobaan.

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Grafik 4.1 hingga 4.57, yang meliputi tahanan gelombang kapal secara keseluruhan (dari percobaan model dan berdasarkan perhitungan dengan menggunakan thin ship theory), tampak adanya perbedaan harga koefisien tahanan gelombang, C_w , antara keduanya untuk setiap model. Ketidacocokan ini dapat disebabkan karena pengaruh viskos menekan faktor penghambat di fluida yang sebenarnya [15], sedangkan perhitungan tahanan gelombang tidak dapat dipisahkan sepenuhnya dari tahanan viskos. Dengan kata lain, semua hasil analisa memiliki asumsi berdasarkan kekentalan fluida [10].

Adanya faktor-faktor kesalahan saat melakukan percobaan model atau prosedur kalibrasi yang tidak tepat, dapat menyebabkan pula terjadinya perbedaan

harga tahanan gelombang yang dihasilkan percobaan bila dibandingkan dengan hasil perhitungan.

Beberapa pendekatan dilakukan saat tahanan gelombang dihitung menggunakan thin ship theory. Wehausen [10], memberikan pendekatan sebagai berikut:

1. Tahanan gelombang sebanding dengan kuadrat lebar kapal.
2. Tahanan gelombang tidak dipengaruhi oleh arah gerakan kapal.
3. Tahanan gelombang dan pola gelombang adalah sama bila kapal tidak mengalami trim dan sink atau berada di posisi yang tetap.

Hasil perhitungan teoritis thin ship dapat memberikan beberapa pertimbangan dalam desain awal sebuah kapal, yaitu berguna untuk mengetahui perbandingan perubahan tahanan gelombang terhadap perubahan parameter bentuk hull. Untuk beberapa model, pola tahanan gelombang yang dihasilkan dari perhitungan thin ship theory menunjukkan karakteristik tertentu, selain itu, analisa tahanan gelombang pada model ini menunjukkan hasil yang dapat diaplikasikan pada skala penuh atau kapal dibuat dalam ukuran sebenarnya.

Tabel 4.1. Distribusi Cw Model NPL & Series 64**Model 1**

Fn	Cw thin ship model NPL	Cw thin ship model Series 64
0.2	0.0004895	0.0007078
0.3	0.0007016	0.0018429
0.4	0.0064523	0.0107307
0.5	0.0092693	0.0162960
0.6	0.0077181	0.0133109
0.7	0.0059789	0.0099473
0.8	0.0045977	0.0073749
0.9	0.0035511	0.0055122
1.0	0.0027685	0.0041743
1.1	0.0021859	0.0032097
1.2	0.0017532	0.0025085

Model 2

Fn	Cw thin ship model NPL	Cw thin ship model Series 64
0.2	0.0001225	0.0001475
0.3	0.0001326	0.0002211
0.4	0.0008656	0.0010910
0.5	0.0011888	0.0015275
0.6	0.0010312	0.0013018
0.7	0.0008594	0.0010572
0.8	0.0007316	0.0008784
0.9	0.0006411	0.0007529
1.0	0.0006287	0.0007001
1.1	0.0027421	0.0021136
1.2	0.0004503	0.0004903

Model 3

Fn	Cw thin ship model NPL	Cw thin ship model Series 64
0.2	0.0000634	0.0001052
0.3	0.0000660	0.0001512
0.4	0.0003760	0.0007160
0.5	0.0005147	0.0009987
0.6	0.0004537	0.0008596
0.7	0.0003929	0.0007117
0.8	0.0003583	0.0006022
0.9	0.0008482	0.0005458
1.0	0.0003494	0.0015365
1.1	0.0002318	0.0004137
1.2	0.0001956	0.0003240

Model 4

Fn	Cw thin ship model NPL	Cw thin ship model Series 64
0.2	0.0000329	0.0000564
0.3	0.0000331	0.0000745
0.4	0.0001727	0.0003336
0.5	0.0002370	0.0004626
0.6	0.0002167	0.0004065
0.7	0.0002077	0.0003527
0.8	0.0003325	0.0003527
0.9	0.0001615	0.0004691
1.0	0.0001231	0.0002223
1.1	0.0001082	0.0001883
1.2	0.0000971	0.0001655

Model 5

Fn	Cw thin ship model NPL	Cw thin ship model Series 64
0.2	0.0001412	0.0001687
0.3	0.0001649	0.0002836
0.4	0.0011795	0.0014586
0.5	0.0016398	0.0020768
0.6	0.0014027	0.0017447
0.7	0.0011459	0.0013877
0.8	0.0009548	0.0011265
0.9	0.0008222	0.0009457
1.0	0.0008118	0.0008781
1.1	0.0040154	0.0030234
1.2	0.0005682	0.0005954

Model 6

Fn	Cw thin ship model NPL	Cw thin ship model Series 64
0.2	0.0001225	0.0001475
0.3	0.0001326	0.0002211
0.4	0.0008658	0.0010910
0.5	0.0011890	0.0015275
0.6	0.0010314	0.0013018
0.7	0.0008596	0.0010572
0.8	0.0007317	0.0008784
0.9	0.0006412	0.0007529
1.0	0.0006288	0.0007001
1.1	0.0027428	0.0021127
1.2	0.0004504	0.0004903

Model 7

F _n	C _w thin ship model NPL	C _w thin ship model Series 64
0.2	0.0001045	0.0001263
0.3	0.0001080	0.0001766
0.4	0.0006605	0.0008428
0.5	0.0009000	0.0011684
0.6	0.0007886	0.0010063
0.7	0.0006667	0.0008295
0.8	0.0005764	0.0007011
0.9	0.0005119	0.0006106
1.0	0.0005012	0.0005701
1.1	0.0020091	0.0015772
1.2	0.0003652	0.0004085

Model 8

F _n	C _w thin ship model NPL	C _w thin ship model Series 64
0.2	0.0003988	0.0004472
0.3	0.0008749	0.0023327
0.4	0.0097670	0.0128766
0.5	0.0154399	0.0246439
0.6	0.0126707	0.0205187
0.7	0.0093859	0.0147600
0.8	0.0069341	0.0104957
0.9	0.0052127	0.0076098
1.0	0.0040039	0.0056620
1.1	0.0031463	0.0043245
1.2	0.0025344	0.0033882

Model 9

F _n	C _w thin ship model NPL	C _w thin ship model Series 64
0.2	0.0002332	0.0002791
0.3	0.0003030	0.0005518
0.4	0.0024409	0.0029764
0.5	0.0034556	0.0043500
0.6	0.0029006	0.0035767
0.7	0.0023096	0.0027721
0.8	0.0018629	0.0021890
0.9	0.0015222	0.0017599
1.0	0.0012612	0.0014353
1.1	0.0010893	0.0012070
1.2	0.0015257	0.0014414

Model 10

F _n	C _w thin ship model NPL	C _w thin ship model Series 64
0.2	0.0001225	0.0001475
0.3	0.0001326	0.0002211
0.4	0.0008656	0.0010907
0.5	0.0011888	0.0015271
0.6	0.0010312	0.0013015
0.7	0.0008594	0.0010569
0.8	0.0007316	0.0008782
0.9	0.0006411	0.0007528
1.0	0.0006287	0.0007001
1.1	0.0027421	0.0021013
1.2	0.0004503	0.0004901

Model 11

F _n	C _w thin ship model NPL	C _w thin ship model Series 64
0.2	0.0000636	0.0000932
0.3	0.0000649	0.0001283
0.4	0.0003596	0.0005923
0.5	0.0004897	0.0008214
0.6	0.0004329	0.0007120
0.7	0.0003749	0.0005955
0.8	0.0003348	0.0005091
0.9	0.0003525	0.0004648
1.0	0.0006706	0.0002760
1.1	0.0002423	0.0003588
1.2	0.0001979	0.0002858

Model 12

F _n	C _w thin ship model NPL	C _w thin ship model Series 64
0.2	0.0000480	0.0000775
0.3	0.0000482	0.0001035
0.4	0.0002516	0.0004634
0.5	0.0003416	0.0006409
0.6	0.0003038	0.0005586
0.7	0.0002674	0.0004730
0.8	0.0002469	0.0004102
0.9	0.0005538	0.0004017
1.0	0.0002430	0.0005904
1.1	0.0001695	0.0002784
1.2	0.0001460	0.0002340

Model 13

Fn	Cw thin ship model NPL	Cw thin ship model Series 64
0.2	0.0000168	0.0000362
0.3	0.0000164	0.0000442
0.4	0.0000742	0.0001850
0.5	0.0001003	0.0002531
0.6	0.0000926	0.0002255
0.7	0.0000897	0.0001999
0.8	0.0001801	0.0002008
0.9	0.0000734	0.0002597
1.0	0.0000591	0.0001366
1.1	0.0000539	0.0001199
1.2	0.0000499	0.0001083

Model 14

Fn	Cw thin ship model NPL	Cw thin ship model Series 64
0.2	0.0001401	0.0001694
0.3	0.0001339	0.0002053
0.4	0.0007151	0.0008924
0.5	0.0009588	0.0012139
0.6	0.0008583	0.0010741
0.7	0.0007470	0.0009191
0.8	0.0006680	0.0008133
0.9	0.0006114	0.0007402
1.0	0.0006007	0.0007034
1.1	0.0020424	0.0015990
1.2	0.0004543	0.0005336

Model 15

Fn	Cw thin ship model NPL	Cw thin ship model Series 64
0.2	0.0001343	0.0001618
0.3	0.0001418	0.0002339
0.4	0.0008956	0.0011352
0.5	0.0012249	0.0015810
0.6	0.0010680	0.0013547
0.7	0.0008966	0.0011085
0.8	0.0007694	0.0009290
0.9	0.0006787	0.0008028
1.0	0.0006649	0.0007478
1.1	0.0027760	0.0021573
1.2	0.0004804	0.0005299



Model 16

Fn	Cw thin ship model NPL	Cw thin ship model Series 64
0.2	0.0001225	0.0001475
0.3	0.0001326	0.0002211
0.4	0.0008656	0.0010910
0.5	0.0011888	0.0015275
0.6	0.0010312	0.0013018
0.7	0.0008594	0.0010572
0.8	0.0007316	0.0008784
0.9	0.0006411	0.0007529
1.0	0.0006287	0.0007001
1.1	0.0027421	0.0021127
1.2	0.0004503	0.0004903

Model 17

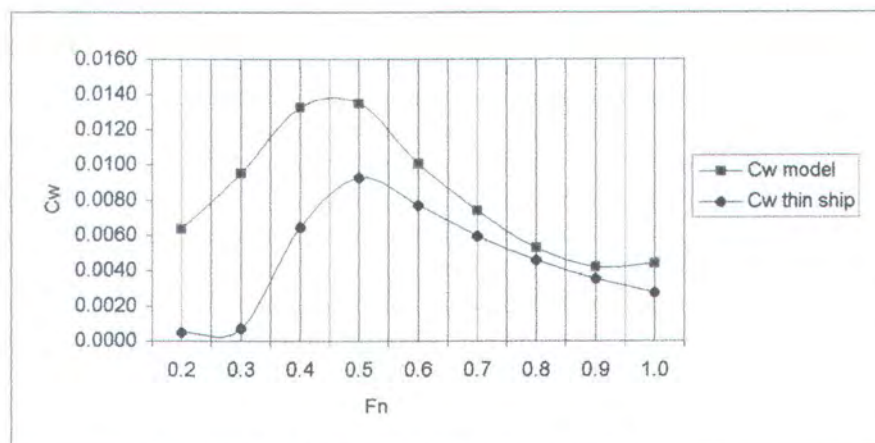
Fn	Cw thin ship model NPL	Cw thin ship model Series 64
0.2	0.0001054	0.0001265
0.3	0.0001182	0.0002001
0.4	0.0008073	0.0010082
0.5	0.0011151	0.0014225
0.6	0.0009606	0.0012037
0.7	0.0007928	0.0009676
0.8	0.0006678	0.0007947
0.9	0.0005801	0.0006741
1.0	0.0005703	0.0006260
1.1	0.0026429	0.0020121
1.2	0.0004038	0.0004315

Model 18

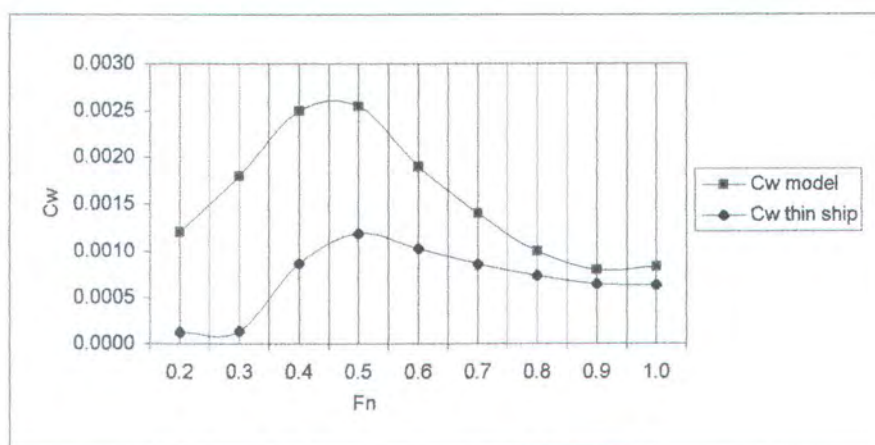
Fn	Cw thin ship model NPL	Cw thin ship model Series 64
0.2	0.0000838	0.0001241
0.3	0.0000985	0.0001975
0.4	0.0007099	0.0009979
0.5	0.0009881	0.0014092
0.6	0.0008443	0.0011915
0.7	0.0006886	0.0009567
0.8	0.0005728	0.0007848
0.9	0.0004926	0.0006649
1.0	0.0004868	0.0006173
1.1	0.0024332	0.0019992
1.2	0.0003401	0.0004248

Model 19

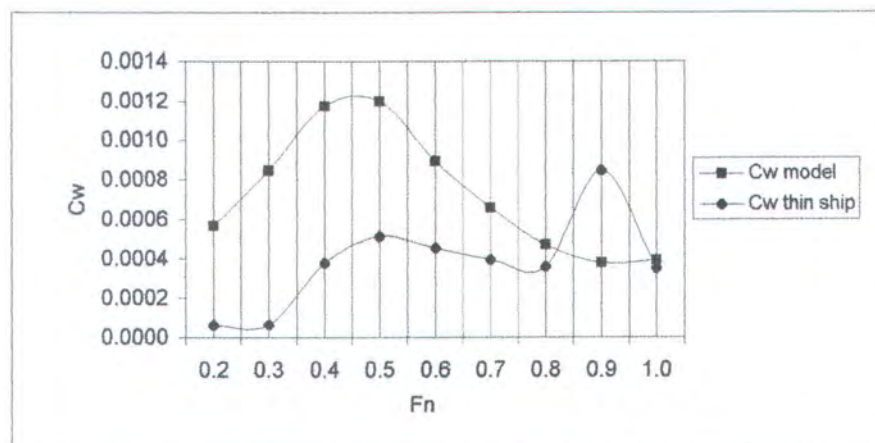
Fn	Cw thin ship model NPL	Cw thin ship model Series 64
0.2	0.0000498	0.0000804
0.3	0.0000647	0.0001461
0.4	0.0005133	0.0007673
0.5	0.0007259	0.0011058
0.6	0.0006117	0.0009217
0.7	0.0004885	0.0007242
0.8	0.0003975	0.0005803
0.9	0.0003365	0.0004817
1.0	0.0003377	0.0004481
1.1	0.0019499	0.0016764
1.2	0.0002308	0.0002983



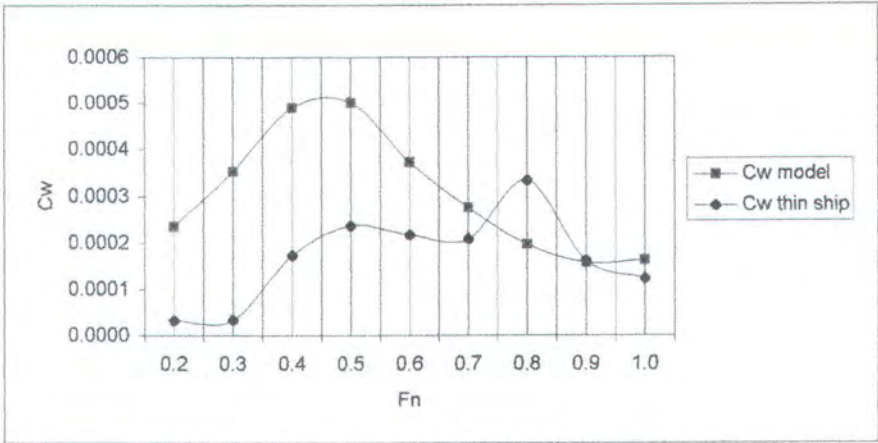
Gambar 4.1: Distribusi Cw Model NPL - 1



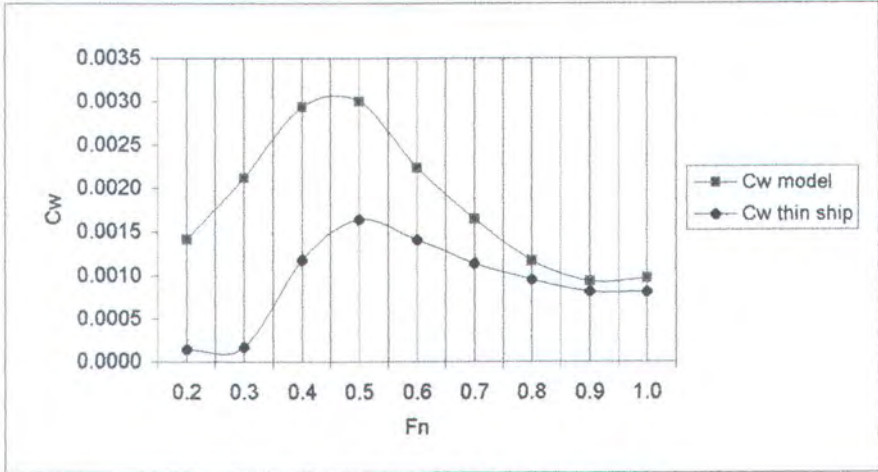
Gambar 4.2: Distribusi Cw Model NPL - 2



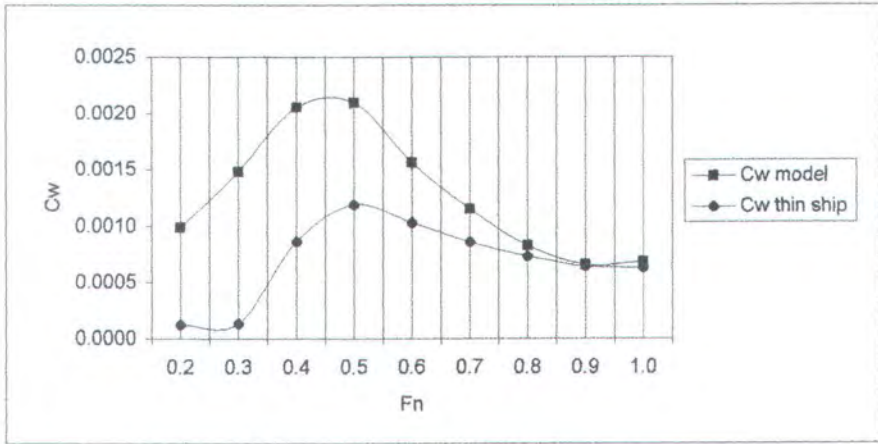
Gambar 4.3: Distribusi Cw Model NPL - 3



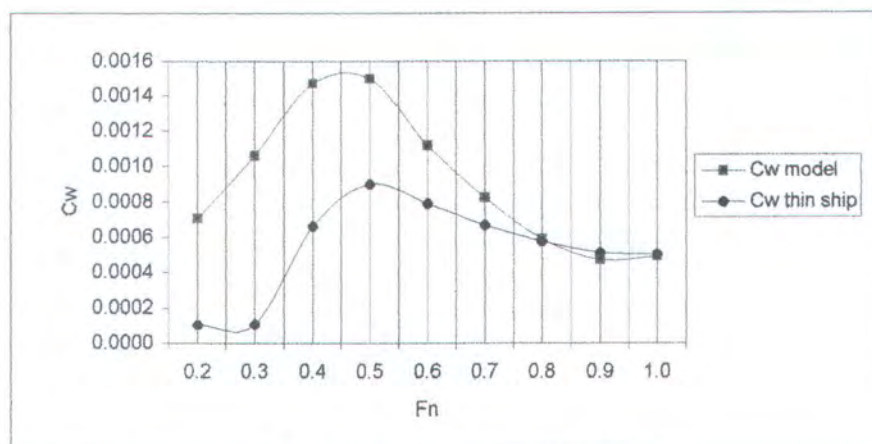
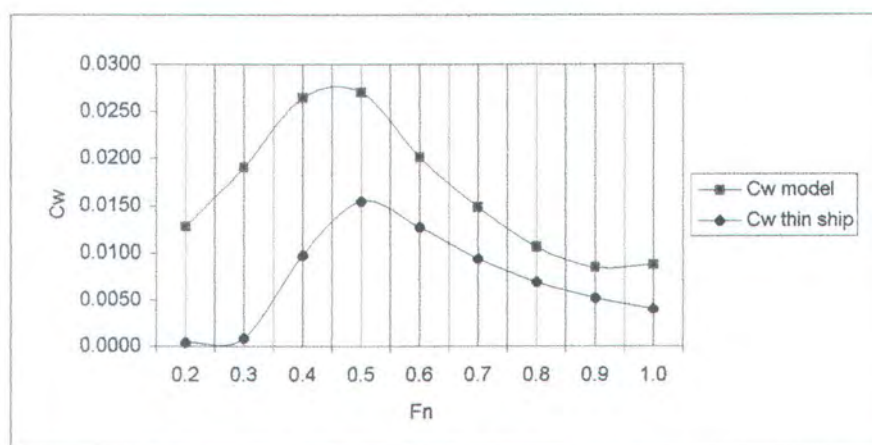
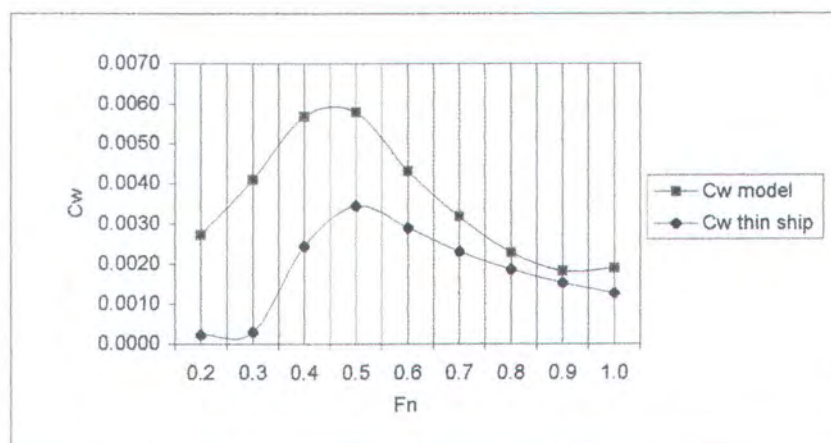
Gambar 4.4: Distribusi C_w Model NPL - 4

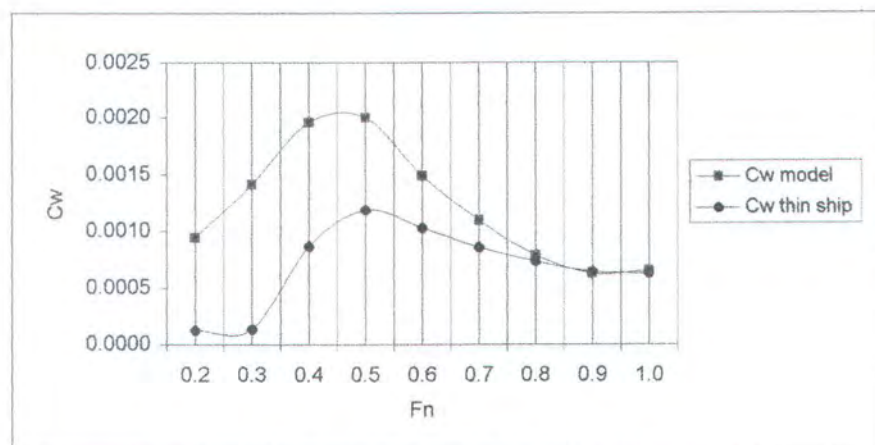


Gambar 4.5: Distribusi C_w Model NPL - 5

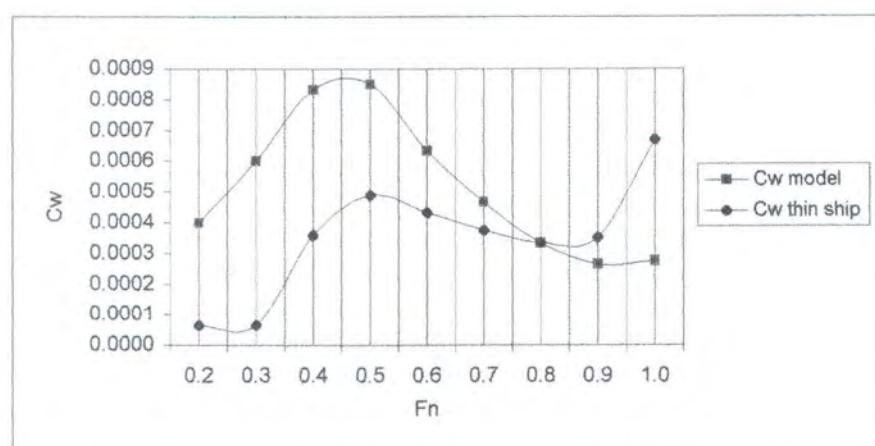


Gambar 4.6: Distribusi C_w Model NPL - 6

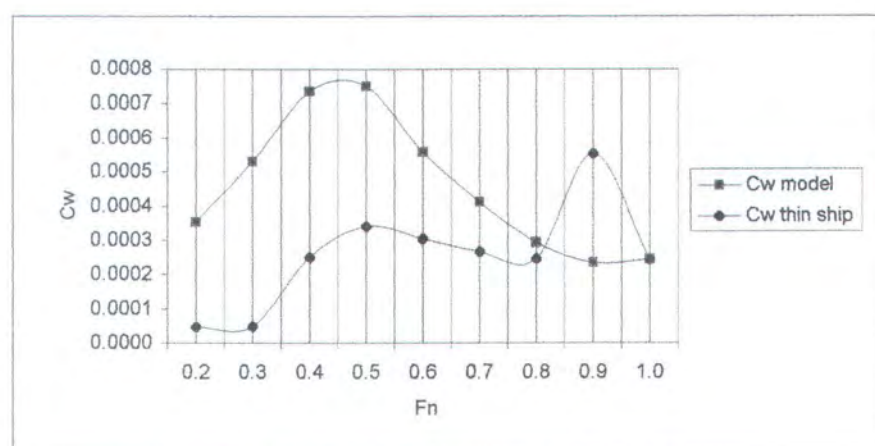
Gambar 4.7: Distribusi C_w Model NPL - 7Gambar 4.8: Distribusi C_w Model NPL - 8Gambar 4.9: Distribusi C_w Model NPL - 9



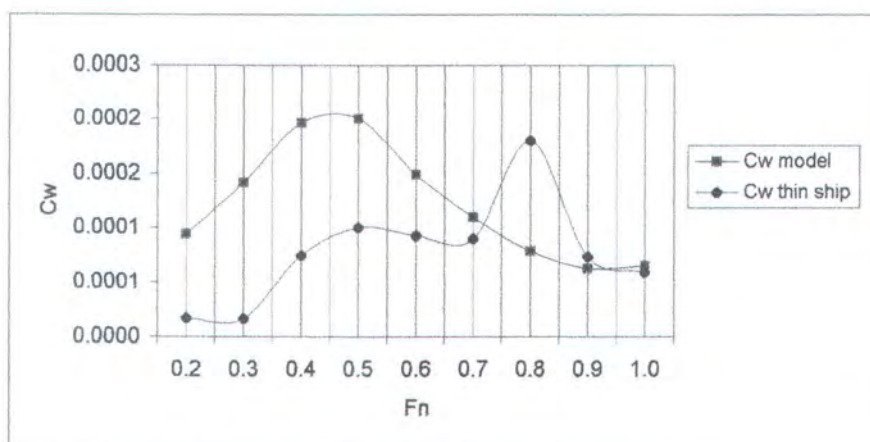
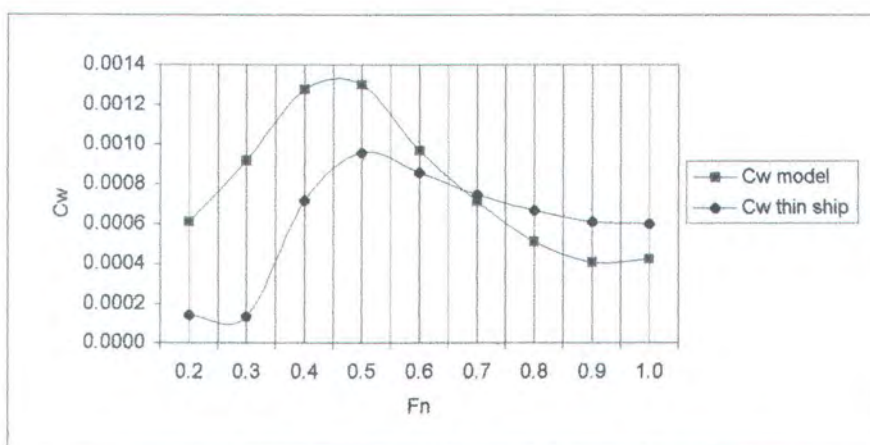
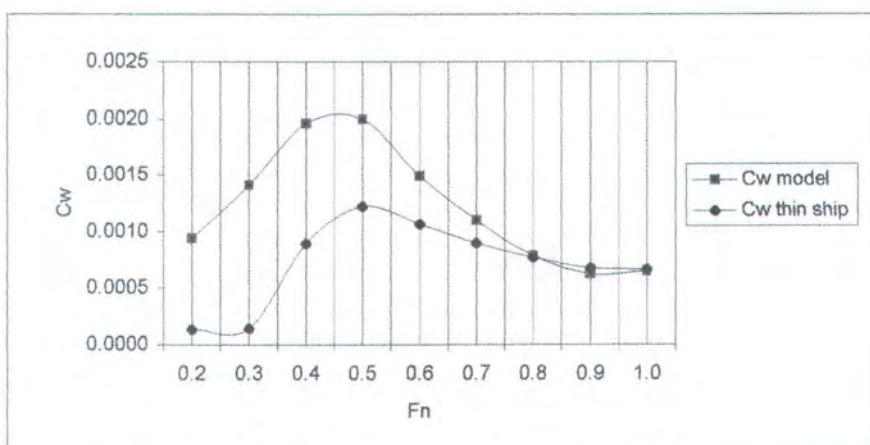
Gambar 4.10: Distribusi Cw Model NPL - 10

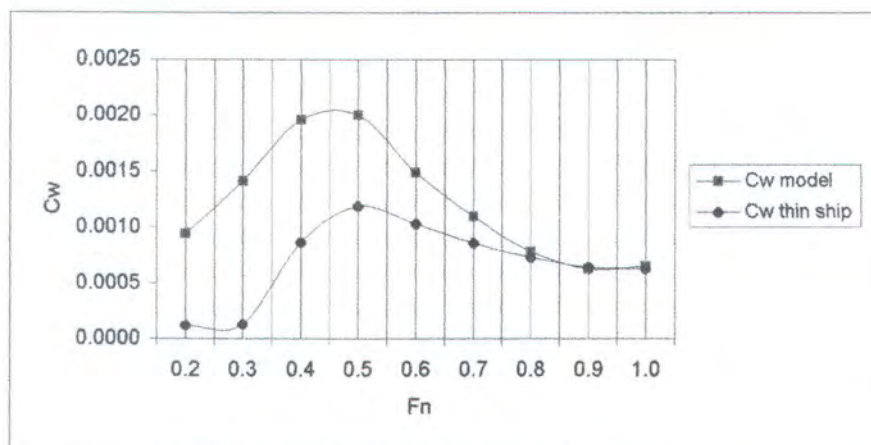
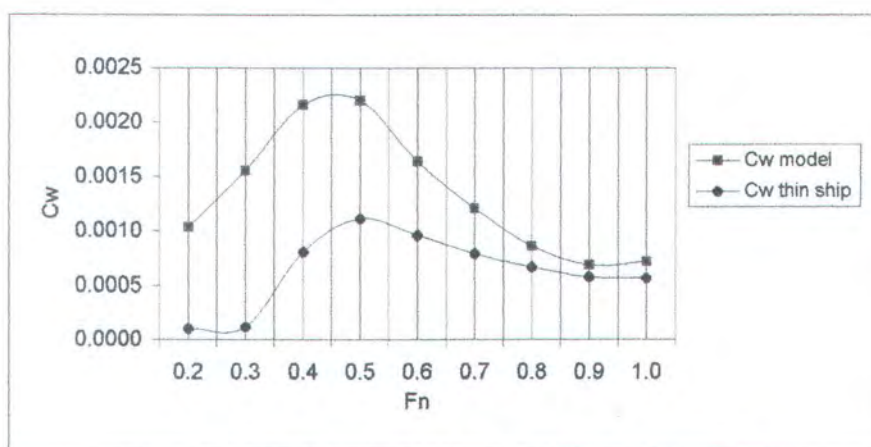
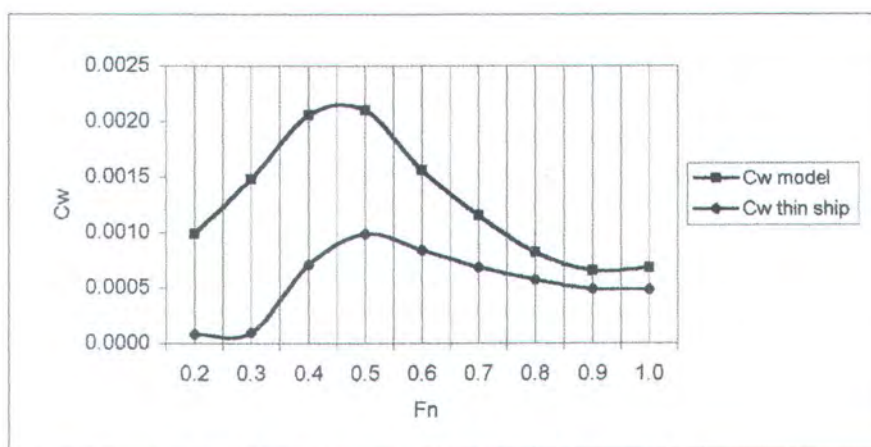


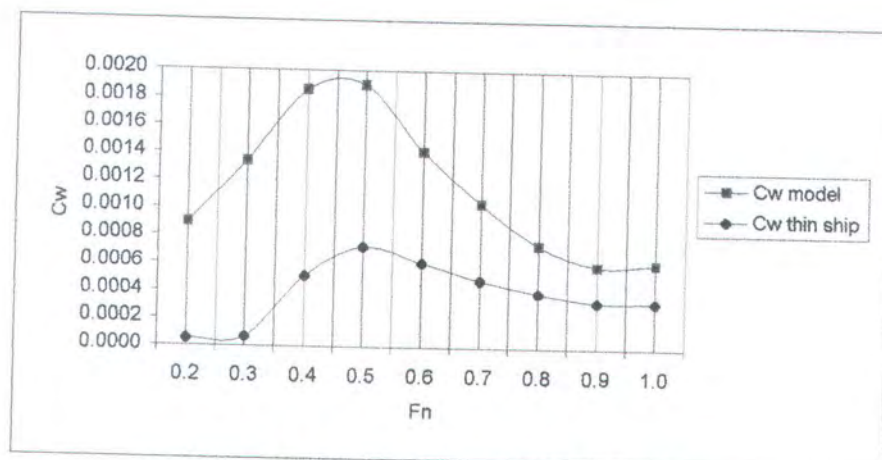
Gambar 4.11: Distribusi Cw Model NPL - 11



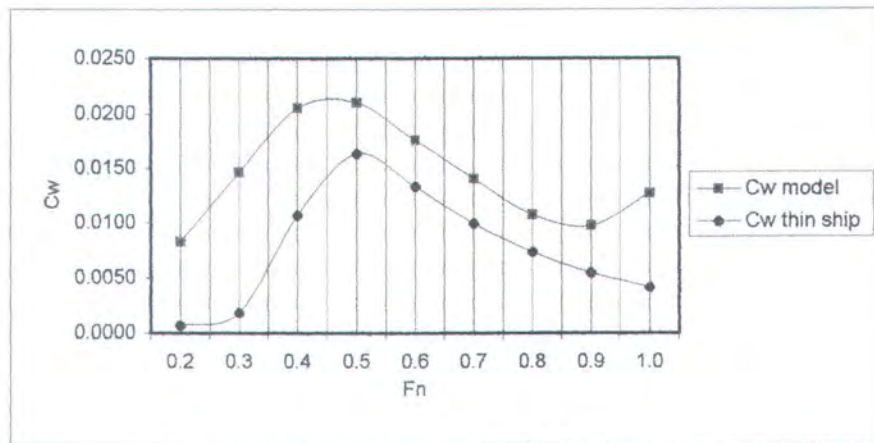
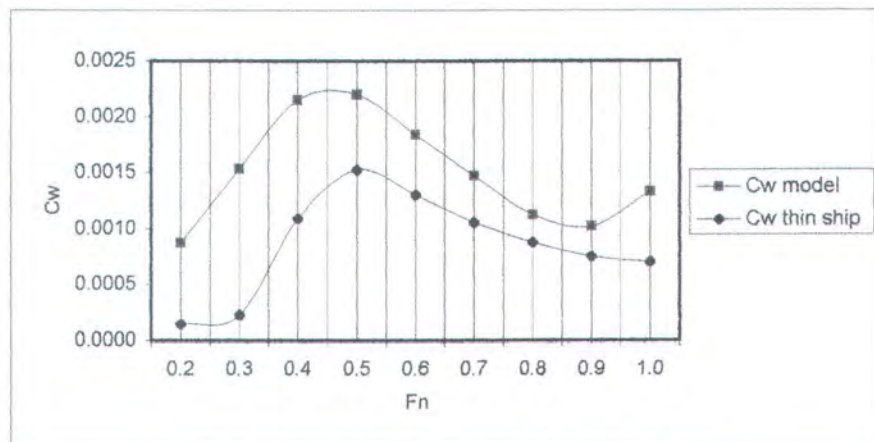
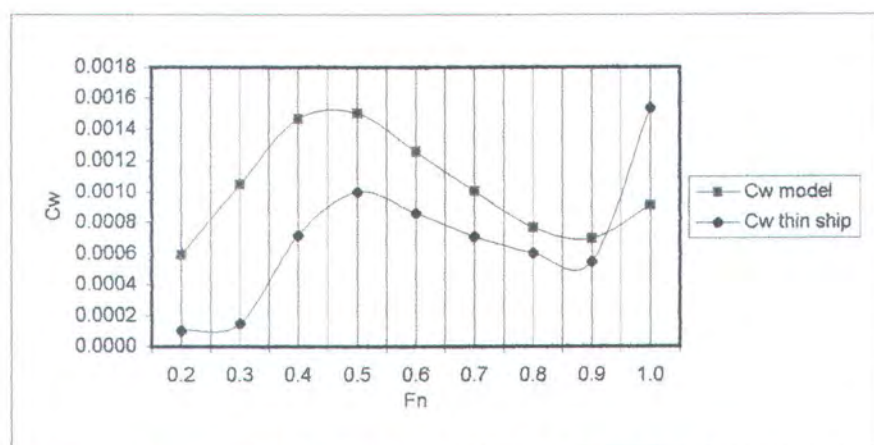
Gambar 4.12: Distribusi Cw Model NPL - 12

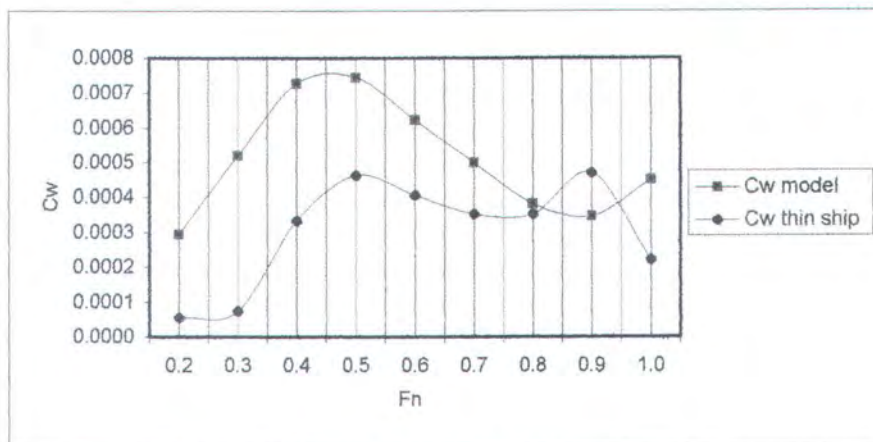
Gambar 4.13: Distribusi C_w Model NPL - 13Gambar 4.14: Distribusi C_w Model NPL - 14Gambar 4.15: Distribusi C_w Model NPL - 15

Gambar 4.16: Distribusi C_w Model NPL - 16Gambar4.17: Distribusi C_w Model NPL - 17Gambar 4.18: Distribusi C_w Model NPL -18

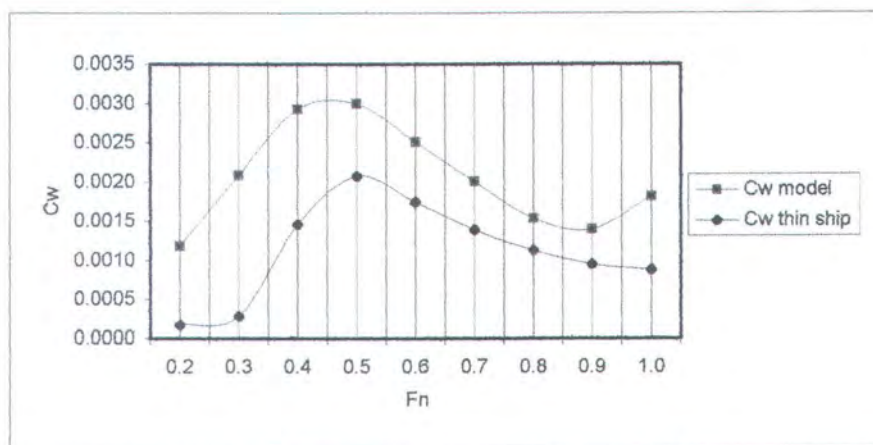


Gambar 4.19: Distribusi C_w Model NPL - 19

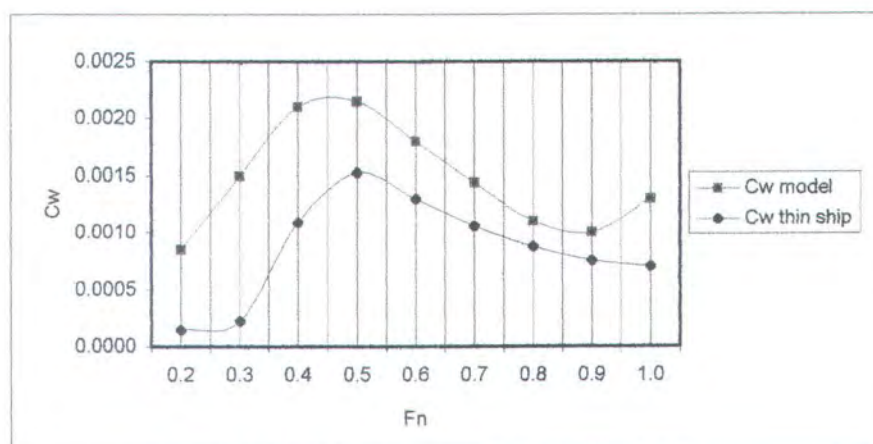
Gambar 4.20: Distribusi C_w Model Series 64 -1Gambar 4.21: Distribusi C_w Model Series 64 -2Gambar 4.22: Distribusi C_w Model Series 64 -3



Gambar 4.23: Distribusi Cw Model Series 64 - 4

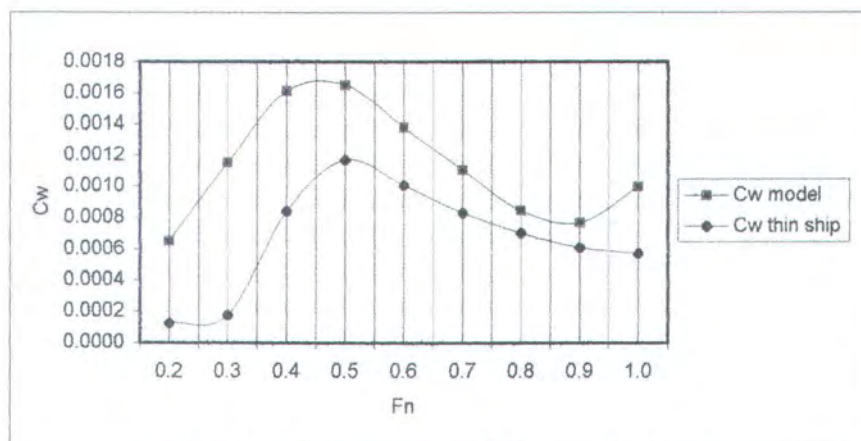


Gambar 4.24: Distribusi Cw Model Series 64 - 5

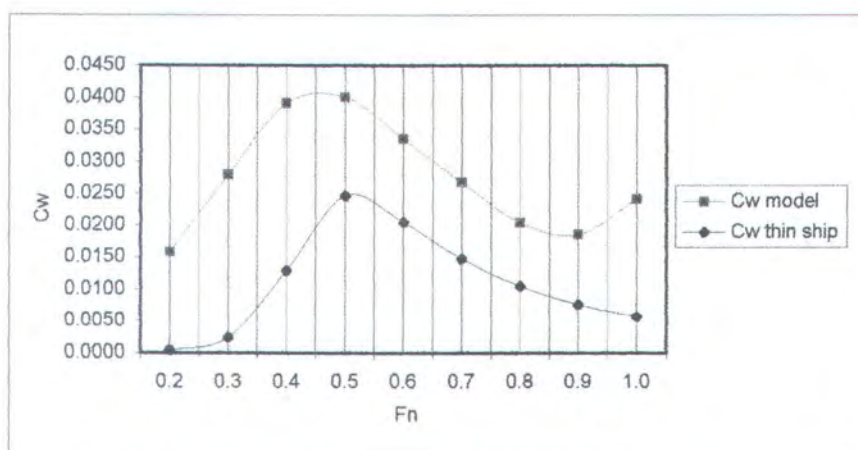


Gambar 4.25: Distribusi Cw Model Series 64 - 6

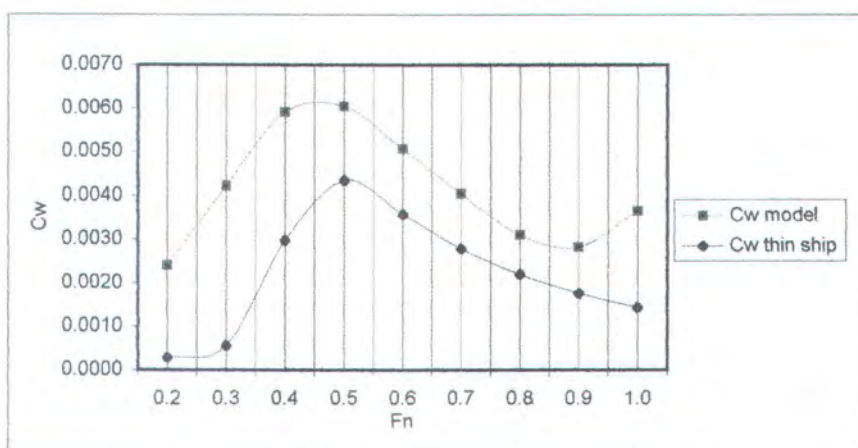




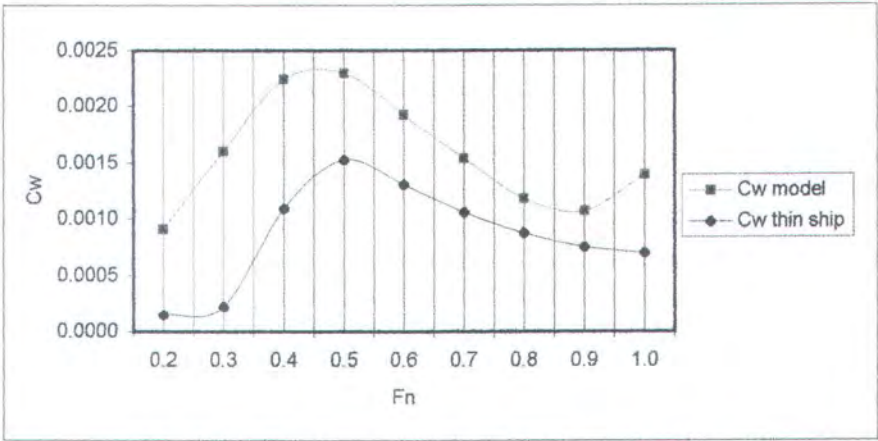
Gambar 4.26: Distribusi Cw Model Series 64 - 7



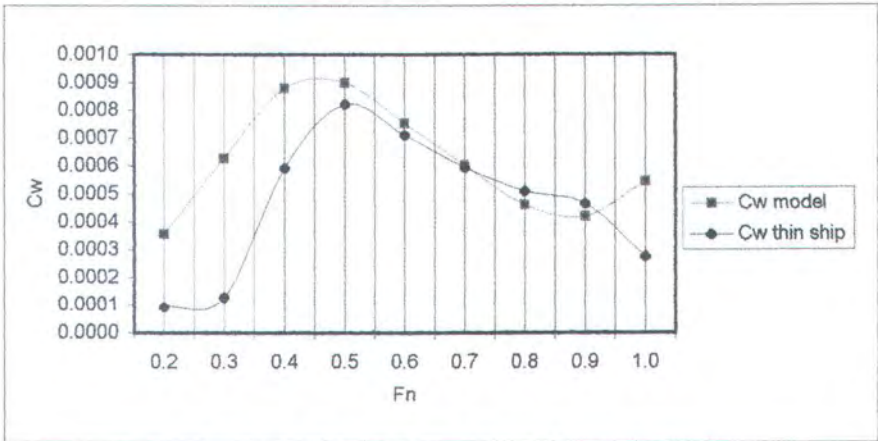
Gambar 4.27: Distribusi Cw Model Series 64 - 8



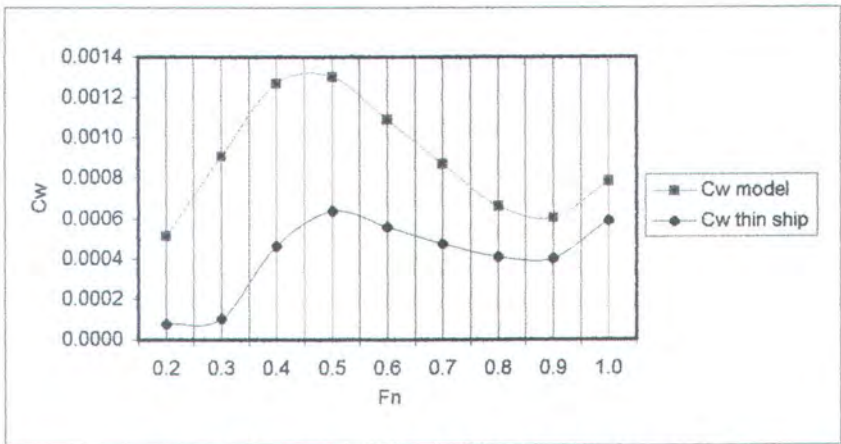
Gambar 4.28: Distribusi Cw Model Series 64 - 9



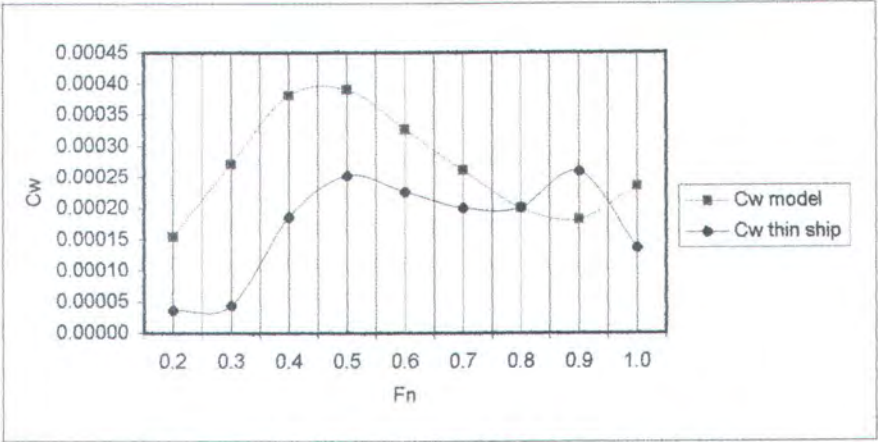
Gambar 4.29: Distribusi Cw Model Series 64 - 10



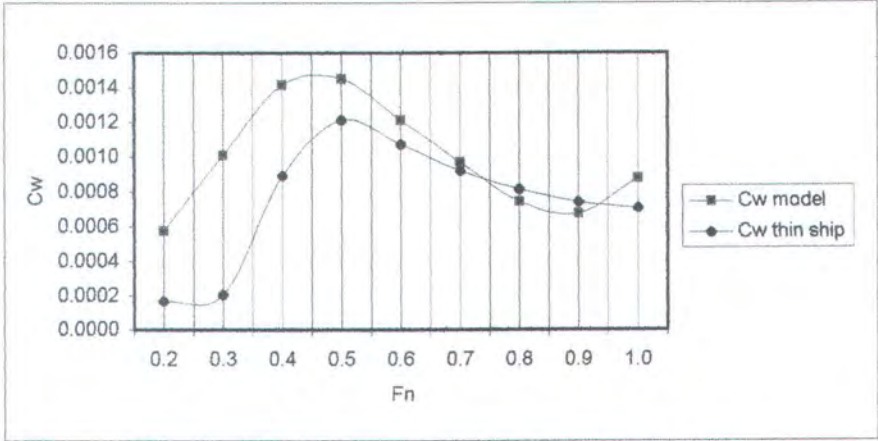
Gambar 4.30: Distribusi Cw Model Series 64 - 11



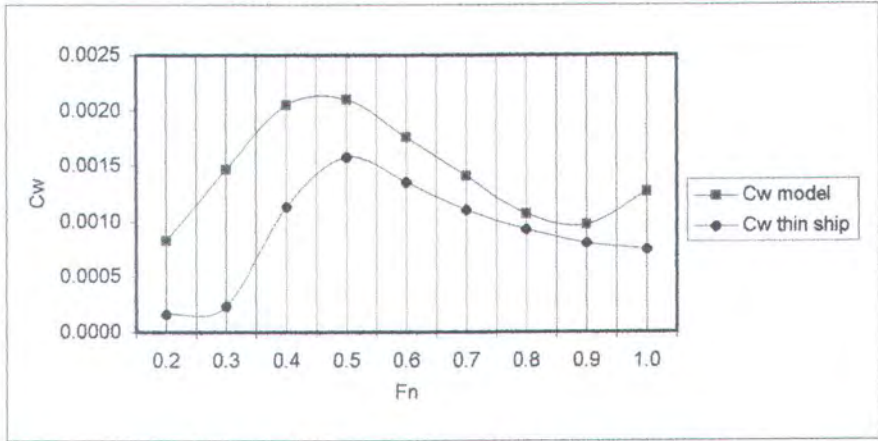
Gambar 4.31: Distribusi Cw Model Series 64 - 12



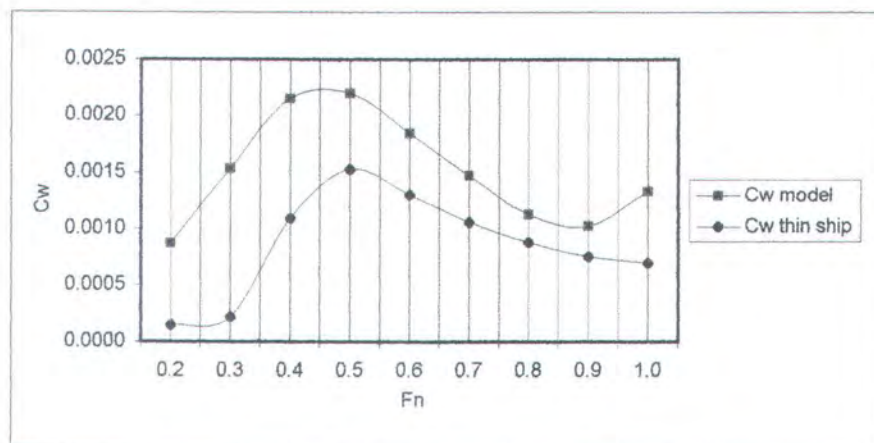
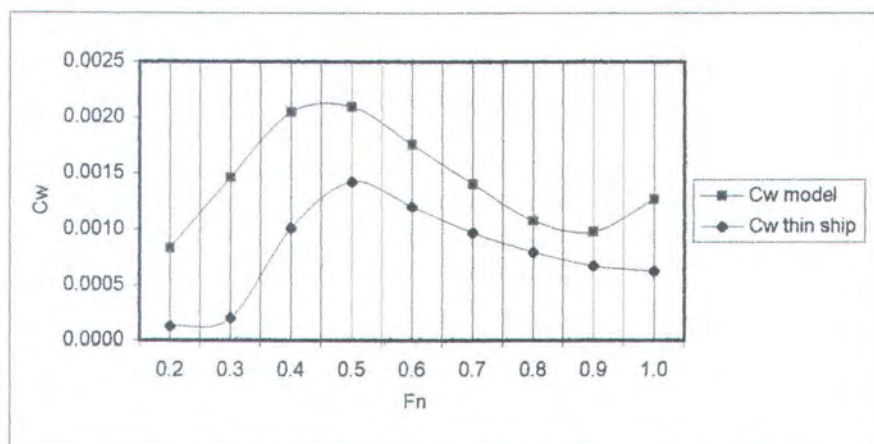
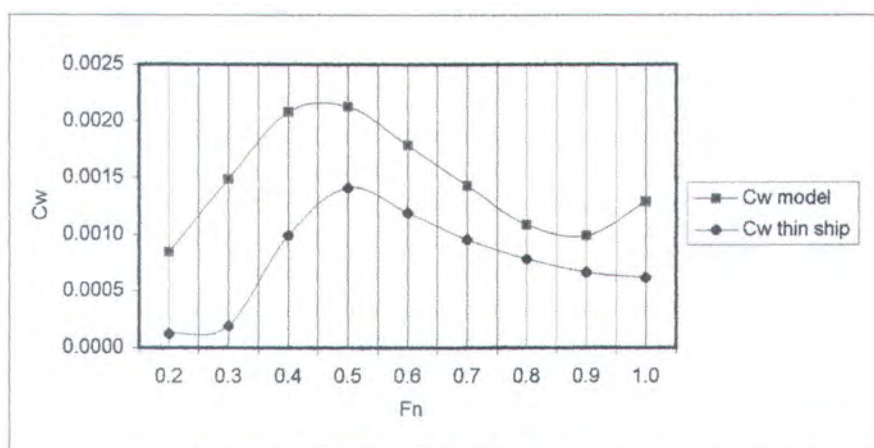
Gambar 4.32: Distribusi C_w Model Series 64 - 13

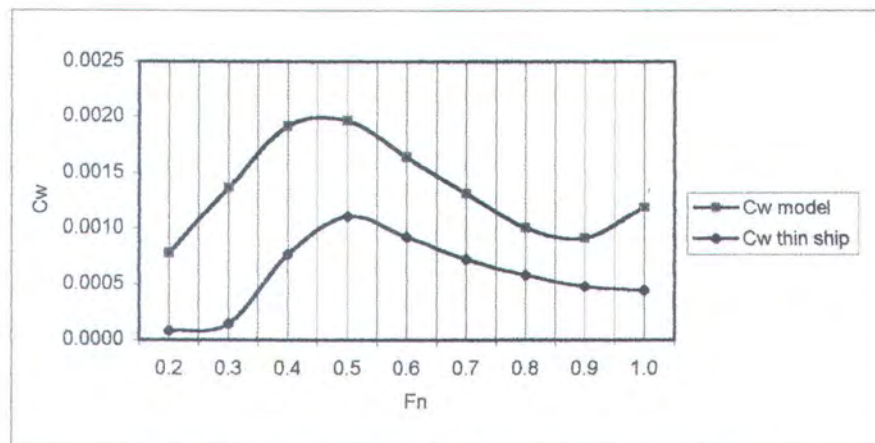


Gambar 4.33: Distribusi C_w Model Series 64 - 14

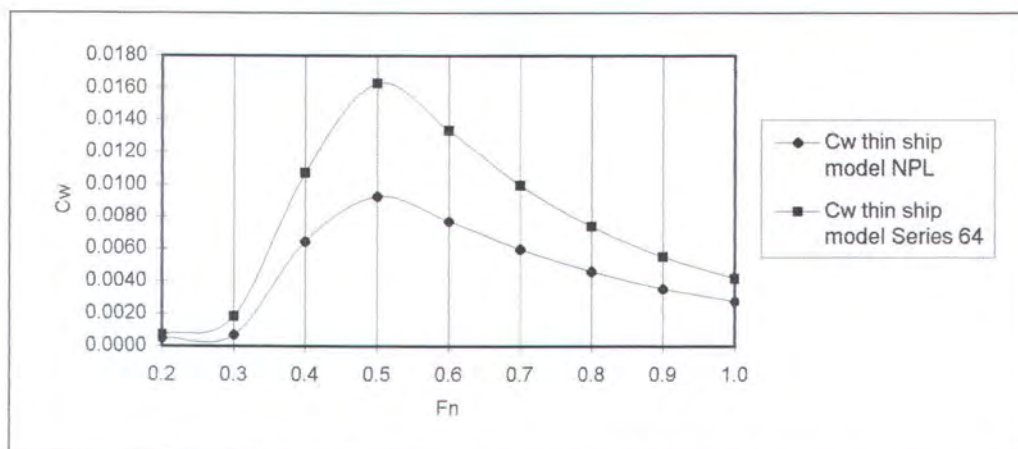
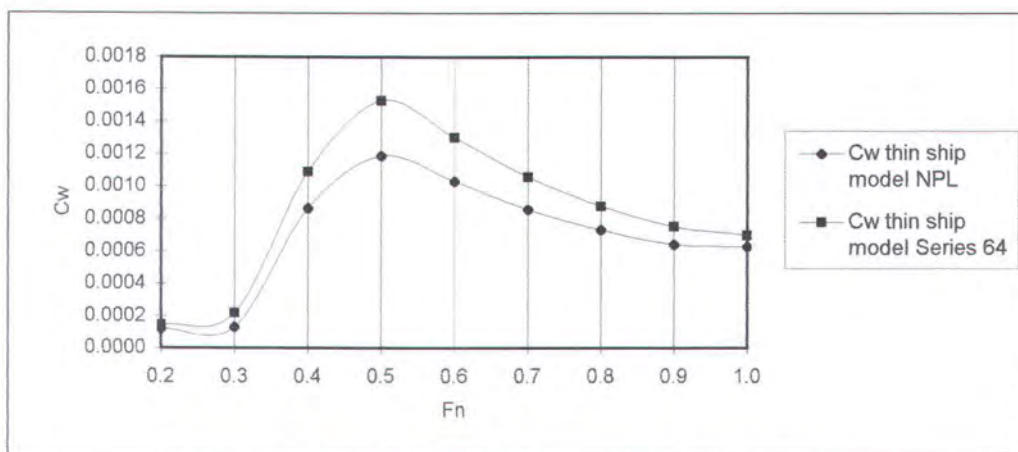
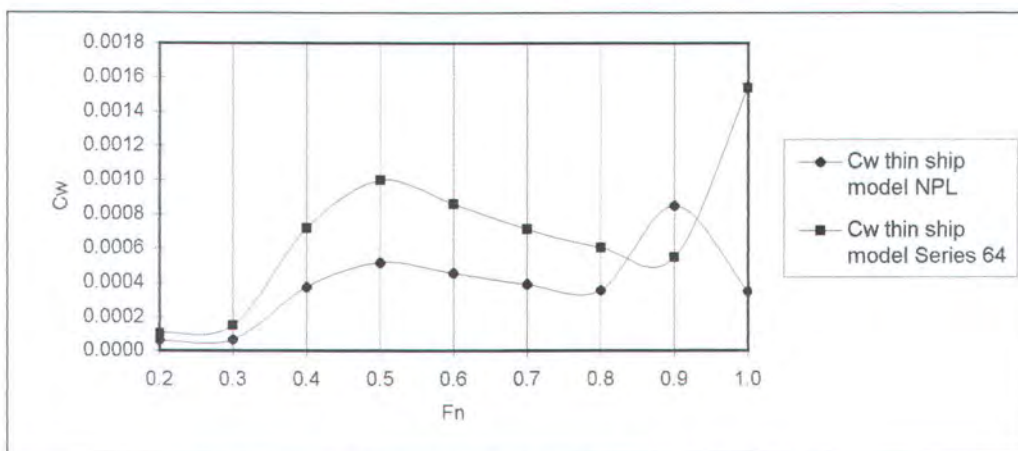


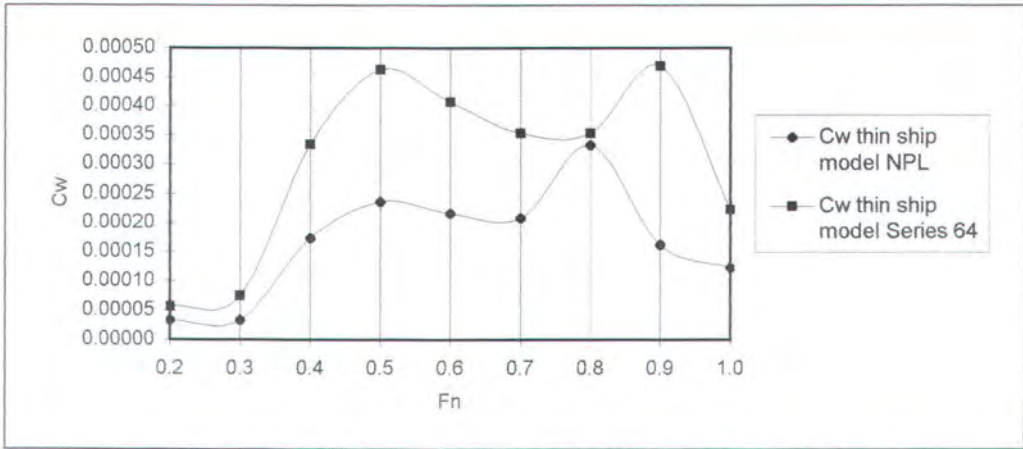
Gambar 4.34: Distribusi C_w Model Series 64 - 15

Gambar 4.35: Distribusi C_w Model Series 64 - 16Gambar 4.36: Distribusi C_w Model Series 64 - 17Gambar 4.37: Distribusi C_w Model Series 64 - 18

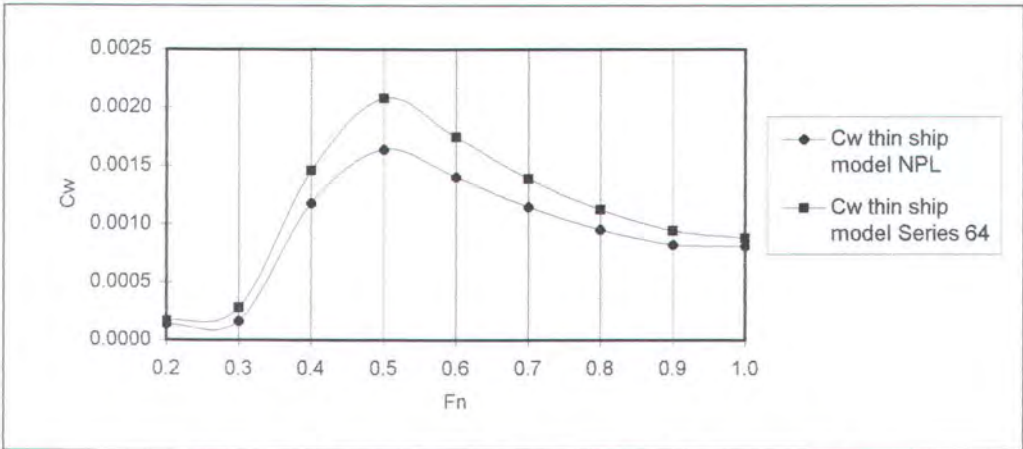


Gambar 4.38: Distribusi C_w Model Series 64 - 19

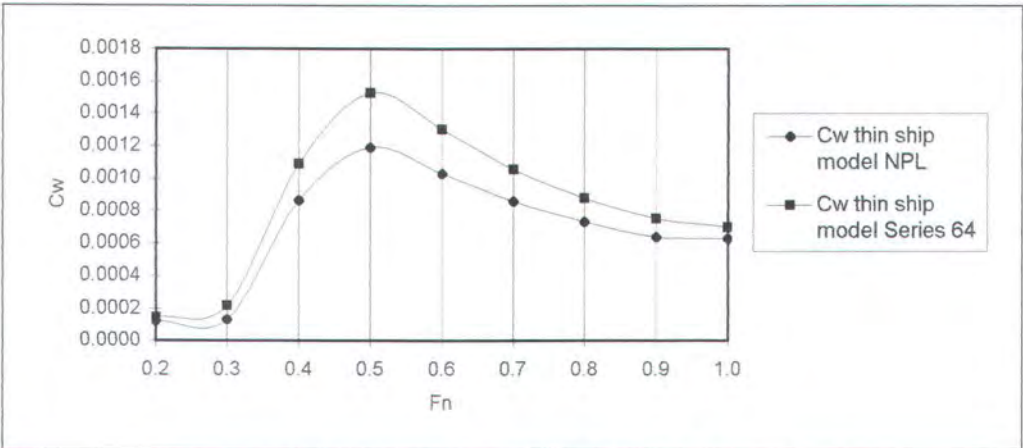
Gambar 4.21: Distribusi C_w Model NPL & Series 64 - 1Gambar 4.22: Distribusi C_w Model NPL & Series 64 - 2Gambar 4.23: Distribusi C_w Model NPL & Series 64 - 3



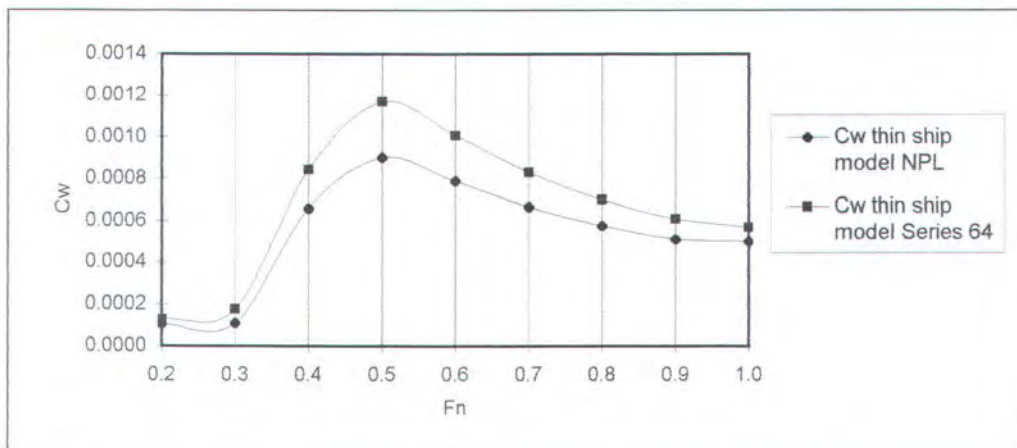
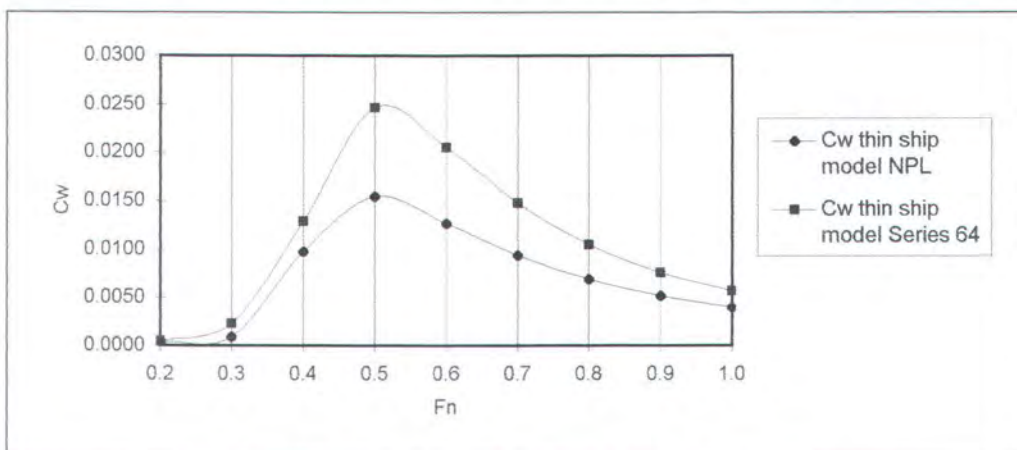
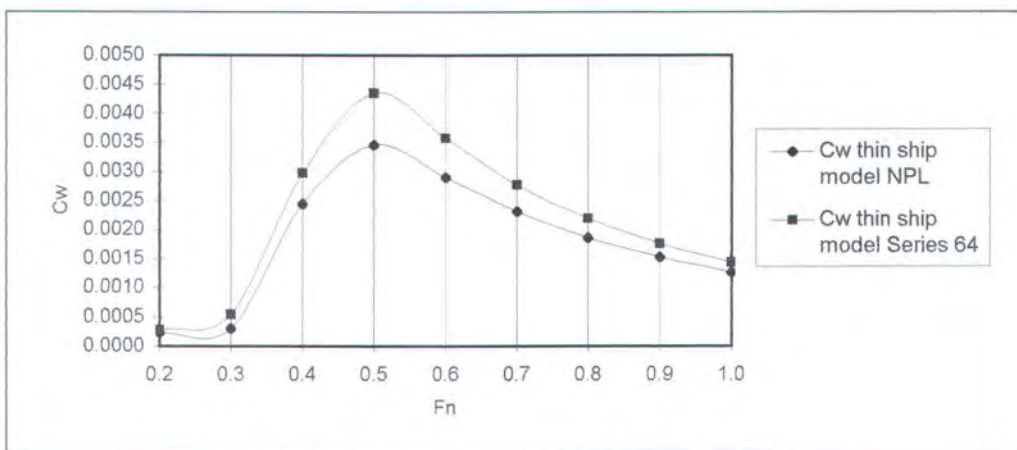
Gambar 4.24: Distribusi C_w Model NPL & Series 64 - 4

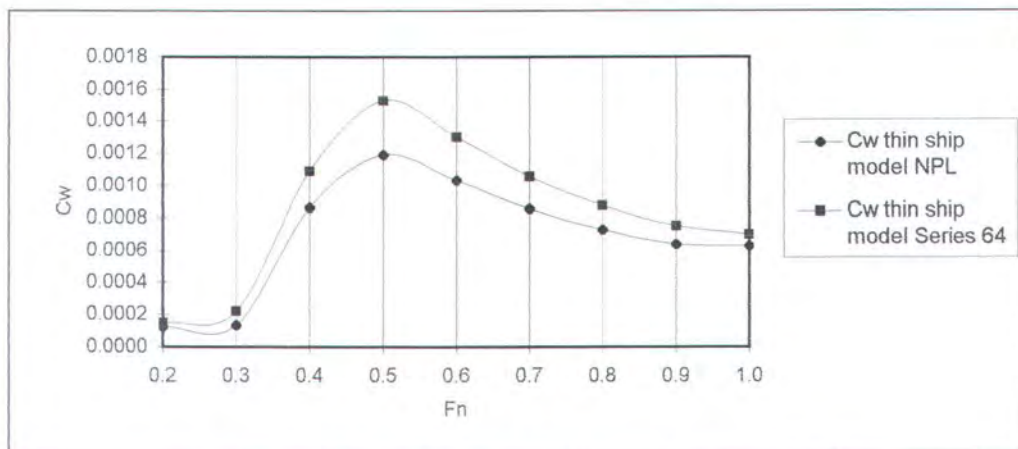
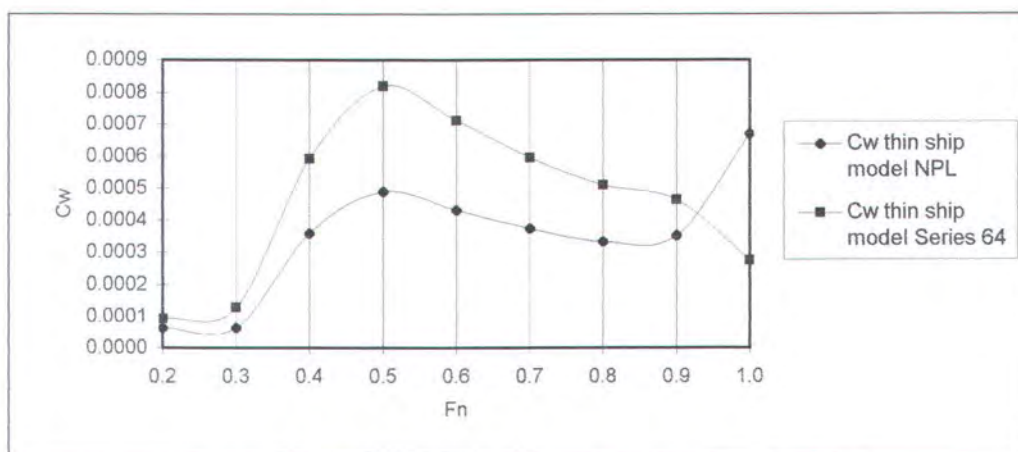
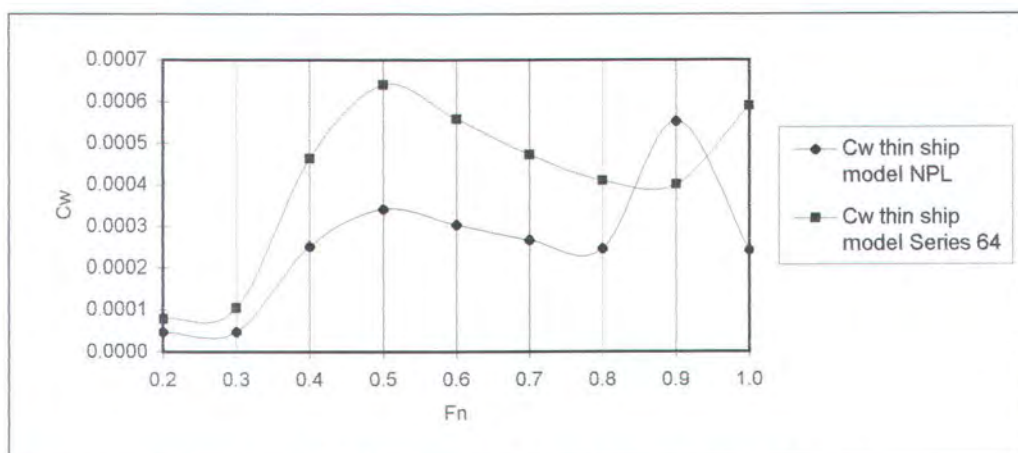


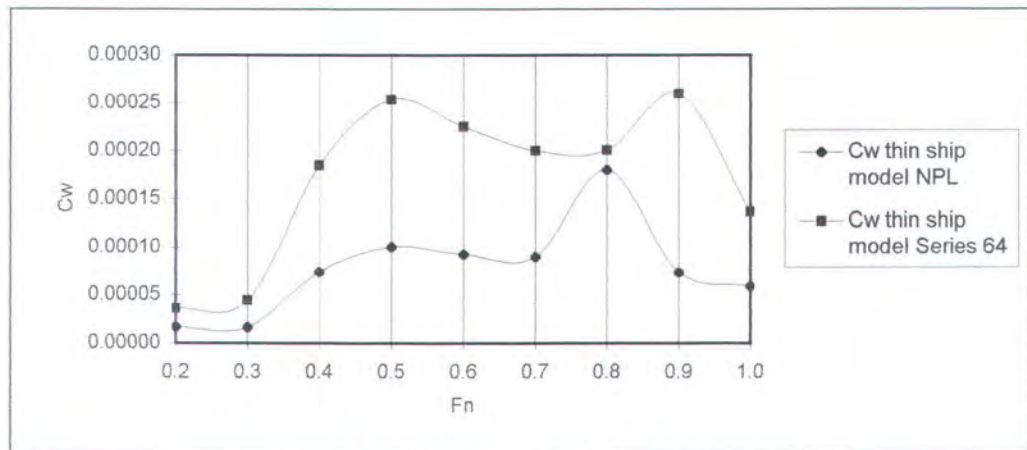
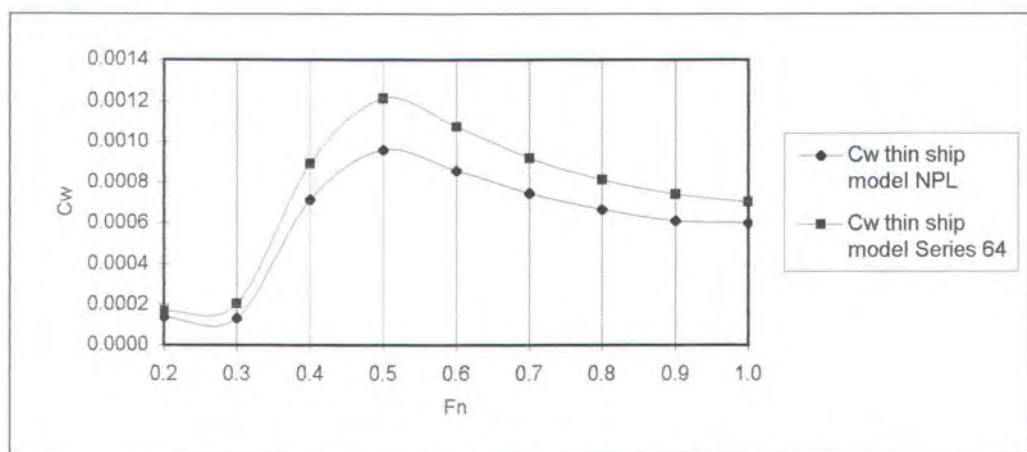
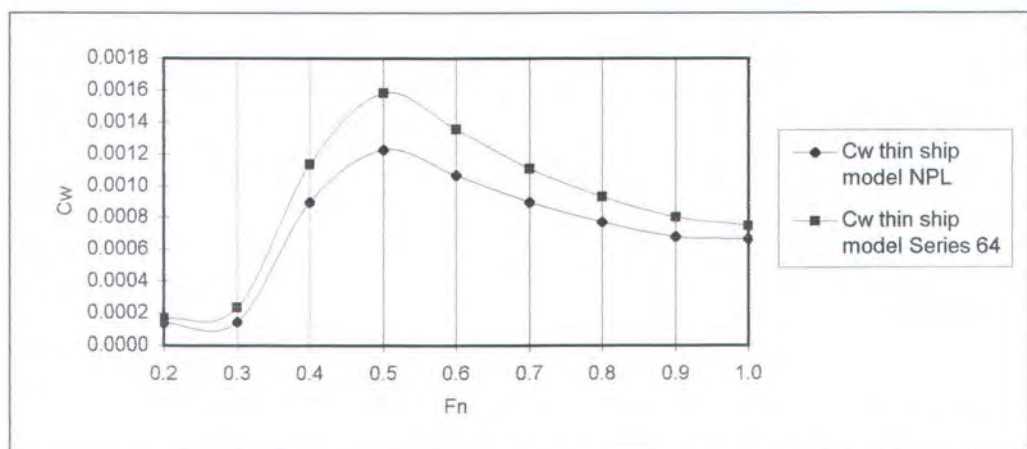
Gambar 4.25: Distribusi C_w Model NPL & Series 64 - 5

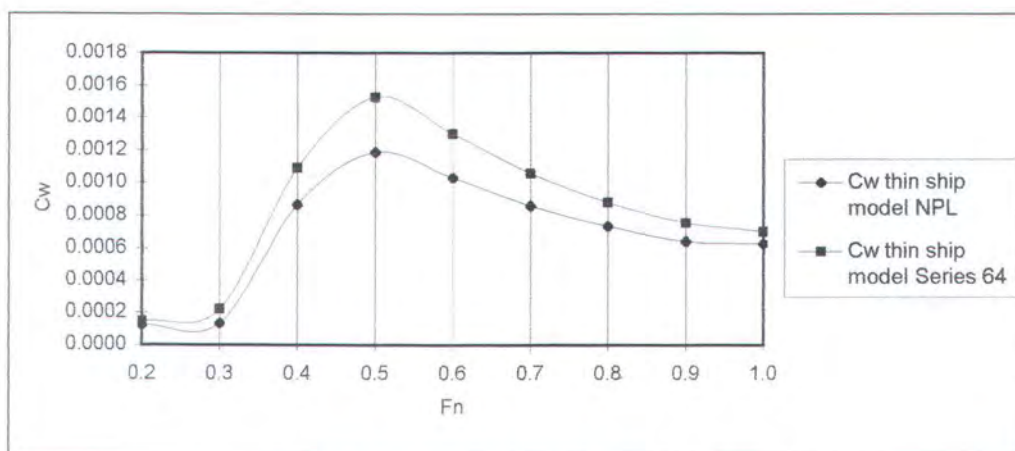
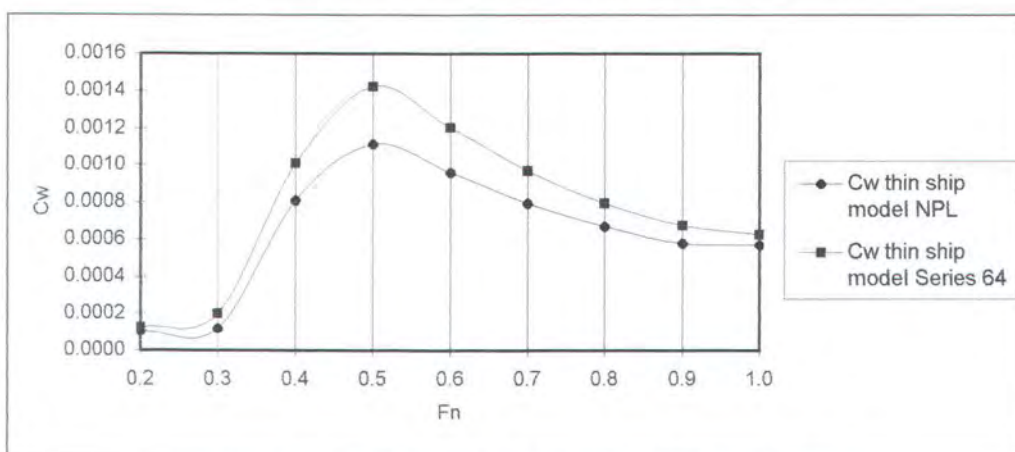
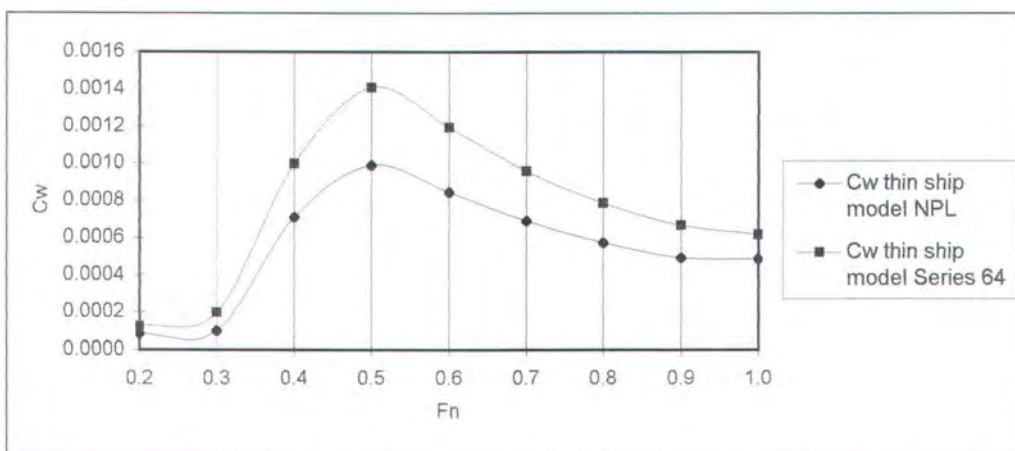


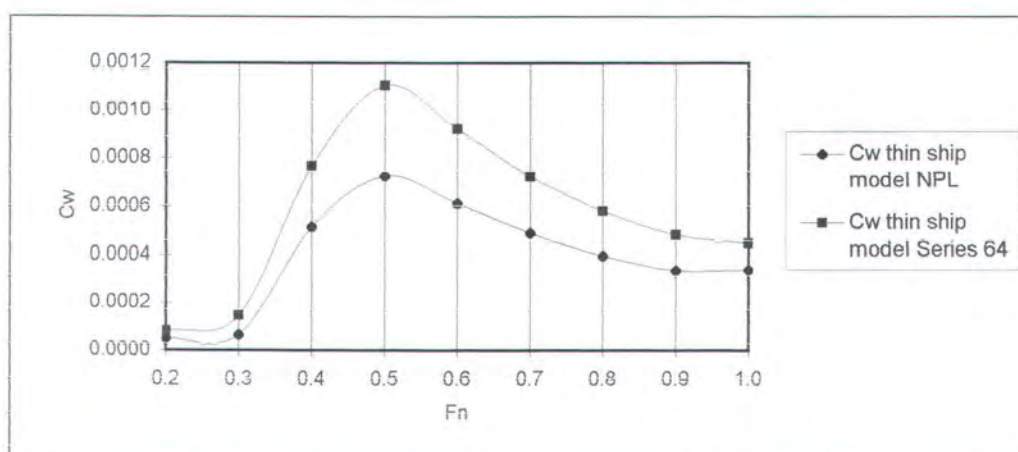
Gambar 4.26: Distribusi C_w Model NPL & Series 64 - 6

Gambar 4.27: Distribusi C_w Model NPL & Series 64 - 7Gambar 4.28: Distribusi C_w Model NPL & Series 64 - 8Gambar 4.29: Distribusi C_w Model NPL & Series 64 - 9

Gambar 4.30: Distribusi C_w Model NPL & Series 64 - 10Gambar 4.31: Distribusi C_w Model NPL & Series 64 - 11Gambar 4.32: Distribusi C_w Model NPL & Series 64 - 12

Gambar 4.33: Distribusi C_w Model NPL & Series 64 - 13Gambar 4.34: Distribusi C_w Model NPL & Series 64 - 14Gambar 4.35: Distribusi C_w Model NPL & Series 64 - 15

Gambar 4.36: Distribusi C_w Model NPL & Series 64 - 16Gambar 4.37: Distribusi C_w Model NPL & Series 64 - 17Gambar 4.38: Distribusi C_w Model NPL & Series 64 - 18



Gambar 4.39: Distribusi C_w Model NPL & Series 64 - 19

BAB 5

KESIMPULAN

BAB 5

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Secara umum karakteristik tahanan gelombang model dan hasil perhitungan telah dianalisa. Telah kita ketahui faktor-faktor penyebab terjadinya perbedaan tahanan gelombang berdasarkan perbandingan ukuran model yang digunakan. Untuk kapal monohull, bentuk model NPL memiliki tahanan gelombang lebih kecil pada kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bentuk Series 64. Tapi pada kecepatan rendah, model Series 64 menghasilkan koefisien tahanan gelombang yang kecil, dan harganya hampir mendekati dengan model NPL.

Untuk perbandingan L/B yang besar, model NPL memberikan tampilan yang lebih baik dalam tahanan gelombang untuk semua batas kecepatan. Mengecilnya tahanan gelombang pada kecepatan rendah pada model Series 64 dikarenakan rendahnya harga koefisien prismatik, tetapi juga WSA yang lebih kecil dibandingkan bentuk NPL.

Timbulnya perbedaan harga tahanan gelombang antara hasil percobaan dengan perhitungan teoritis disebabkan karena pengaruh viskos, dimana perhitungan tahanan gelombang ini tidak dapat dipisahkan sepenuhnya dari tahanan viskos. Selain itu, proses kalibrasi alat ukur yang tidak sesuai saat melakukan percobaan model juga dapat menyebabkan harga tahanan gelombang

memiliki sejumlah kesalahan karena adanya faktor penambah tahanan yang turut terkalkulasi saat pengukuran dilakukan.

5.2. Saran

Saran-saran berikut yang disajikan penulis sekiranya dapat dipertimbangkan untuk pengembangan perhitungan tahanan gelombang menggunakan thin ship theory atau untuk pengembangan percobaan model selanjutnya.

Perlu diadakan percobaan model untuk $F_n > 1,0$ atau model berada dalam kondisi yang kritis, sehingga karakteristik tahanan gelombang yang dihasilkan dapat diketahui, mengingat kini semakin meningkatnya permintaan akan kapal cepat yang mungkin beroperasi di daerah pelayaran yang berbahaya.

Selain itu, perlu dilakukan pengecekan ulang atas alat ukur dan sarana percobaan sebelum dilakukannya percobaan model. Bila ada, harus dilakukan koreksi atas hasil percobaan model untuk menghilangkan kesalahan pengukuran. Atau dengan penggunaan sarana percobaan model yang lain, mengingat percobaan model di tangki percobaan merupakan sarana yang sudah lama dan perlu dikembangkan lagi.



DAFTAR PUSTAKA

1. Harvald, Sv. Aa., "Resistance and Propulsion of Ship", Department of Ocean Engineering – University of Denmark, John Wiley & Sons, Inc., 1983.
2. Lewis, Edward V., "Principle of Naval Architecture, Volume II: Resistance, Propulsion and Vibration", The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New Jersey, 1988.
3. Wijaya, I.G.A.R.S., "Development of New Hull Shapes for Commercial Multihull Using Thin Ship Theory", M.Sc. thesis, University of Southampton, December 1997.
4. Michell, J. H., "The Wave Resistance of a Ship", Philosophical Magazine and Journal of Science, Vol. XLV-FIFTH series January – June 1898.
5. Molland, A. F., Wellicome, J. F., Couser, P. R., "Theoretical prediction of the wave resistance of slender hull forms in catamaran configurations", Ship Science Report no. 72, University of Southampton, March 1994.
6. Molland, A. F., Wellicome, J. F., Couser, P. R., "Resistance Experiments on a Systematic Series of High Speed Displacement Catamaran Forms: Variation of Length-Displacement Ratio and Breadth-Draught Ratio", Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, Vol. 138, 1996.
7. Insel, M., Molland, A. F., "An Investigation into Resistance Components of High Speed Displacement Catamarans", Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, Vol. 134, 1992.
8. Tuck, E. O., "An Approximation to Michell's Integral", University of Adelaide, Australia.
9. Eggers, K.W.H., "Wave Analysis, State of the Art 1975", University Hamburg Germany.
10. Wehausen, John V., "The Wave Resistance of Ships", Advanced in Applied Mechanics, Department of Naval Architecture, University of California, Barkeley, California.
11. Millward, A., "The Effect of Hull Cross Section on the Theoretical Wave Resistance of a Fast Ship in Shallow Water", Int. Shipbuild Program, Vol. 31, no. 254, pp. 28-34, 1984.

12. Couser, P. R., Wellicome, J. F., Molland, A. F., "An Improved Method for the Theoretical Prediction of the Wave Resistance of Transom-Stern Hulls Using a Slender Body Approach", *Int. Shipbuilding Program*, Vol. 45, no. 444, pp. 331-349, 1998.
13. Jensen, G., "Ship Wave-Resistance Computations", Fifth International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, Hiroshima International Conference Centre, Japan, 1989.
14. Hanhirova, K., Rintala, S., Karppinen, T., "Preliminary Resistance Prediction Method for Fast Monohull and Multihull Vessels", *International Symposium High Speed Vessels for Transport and Defence*, 1995.
15. Newman, J. H., "Marine Hydrodynamics", The MIT Press, Cambridge, Massachusetts and London, England.